

4. Podsumowanie

Zaprawa w kominach murowanych wraz z upływem czasu ich eksploatacji ulega systematycznemu skażeniu, co skutkuje pogorszeniem właściwości użytkowych. W oparciu o przeprowadzone badania stwierdzono, że zaprawa pełni rolę materiału, który przejmując główne obciążenie chemiczne neutralizuje agresywne składniki odprowadzanych gazów spalinowych. Proces zubożenia środowiska agresywnego jest jednoznaczny z postępem przede wszystkim korozji siarczanowej i kwasowej spoiwa. Zarówno produkty tych procesów jak inne składniki pochodzące z odprowadzanych spalin ulegają kumulacji w porowatej strukturze zaprawy, co z czasem skutkuje utratą jej zwięzłości. Proces degradacji zapraw postępuje od wnętrza kominów zwłaszcza w rejonie głowicy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] The CICIND Chimney Book. CICIND, Zurych (2005)
- [2] Sryszewska T., Kańska S., Osady pomiędzy trzonem a wykładziną wtórnym zagrożeniem korozyjnym żelbetowych kominów przemysłowych, Materiały Ceramiczne 3 (2012) 378–386
- [3] Kańska S., Materiałowe i eksploatacyjne uwarunkowania trwałości żelbetowych kominów przemysłowych, Praca Doktorska, Politechnika Krakowska (2012)
- [4] Barycz S., Oruba R., Demolition of technical worn out high reinforced concrete chimneys, Inżynieria Środowiska 9 (2004) 219–220
- [5] Fiertak M., Kańska S., Methods and interpretation of material testing in power sector chimneys. Proceedings of the 5th International Conference Concrete and Concrete Structures, Zilina (2009) 91–98
- [6] Sryszewska T., Wodnicka K., Tekstura i mikrostruktura cegły ceramicznej skażonej jonami chlorkowymi i siarczanowymi, Materiały Ceramiczne 1 (2013) 87–91
- [7] Nadachowski F., Jonas S., Wodnicka K., Zarys ceramografii, Polski Biuletyn Ceramiczny Ceramika, 82, Kraków (2003)

Trwałość zabezpieczeń ogniochronnych drewna gatunków egzotycznych

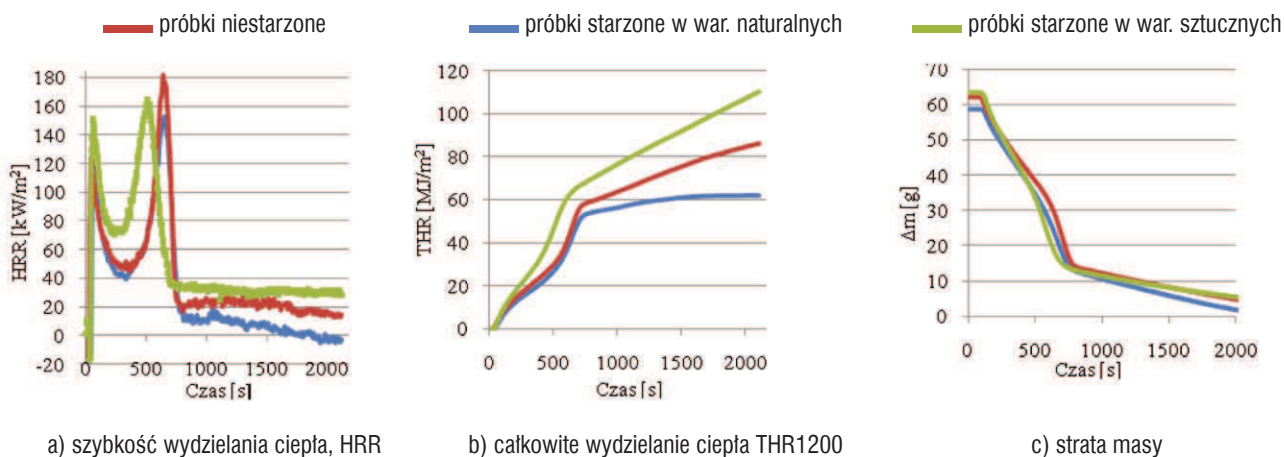
Dr inż. Ewa Sudot, dr inż. Andrzej Kolbrecki, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa

1. Wprowadzenie

Obserwowany w ostatnich latach powrót do wykorzystania w budownictwie naturalnych materiałów sprawił, że projektanci i inwestorzy chętnie sięgają po wyroby z drewna. Walory tego surowca odkrywane są na nowo, a szybki postęp w technologii obróbki, uszlachetnia-

nia i zabezpieczania, stwarza możliwość jego szerszego wykorzystania.

Obok gatunków krajowych, coraz częściej stosowane jest także drewno pozaeuropejskie. Niektóre gatunki używane są niemal powszechnie w wyrobach podłogowych, schodach i elementach wykończenia wnętrz. Drewno egzotyczne znajduje zastosowanie również



Rys. 1. Zmiany wybranych właściwości ogniowych powłok ogniochronnych w czasie (seria SO)

Tabela 1. Wyniki badań właściwości ogniowych powłok ogniochronnych

Seria	Rodzaj próbek	Szybkość wydzielenia ciepła HRR	Całkowite wydzielenie ciepła THR ₁₂₀₀	Czas do zapalenia	Efektywne ciepło spalania	Ubytek masy
		kW/m ²	MJ/m ²	s	MJ/kg	%
KC	niestarzone	47,52	72,96	18	14,13	90
	starzone w war. naturalnych	47,58	73,35	23	13,78	88
	starzone w war. sztucznych	51,15	79,77	18	13,77	89
SC	niestarzone	47,2	71,69	73	12,95	83
	starzone w war. naturalnych	51,92	76,71	26	13,85	85
	starzone w war. sztucznych	60,52	88,09	23	16,5	87
KM	niestarzone	52,43	84,65	37	10,08	82
	starzone w war. naturalnych	62,83	95,77	60	10,98	82
	starzone w war. sztucznych	72,35	111,47	33	13,07	84
SM	niestarzone	70,46	111,21	32	11,75	84
	starzone w war. naturalnych	80,16	119,19	56	13,52	82
	starzone w war. sztucznych	79,05	120,72	47	12,23	80
KO	niestarzone	37,86	62,57	22	10,82	95
	starzone w war. naturalnych	43,64	68,98	25	12,38	91
	starzone w war. sztucznych	46,27	70,22	24	13,17	88
SO	niestarzone	34,44	58,89	38	9,43	92
	starzone w war. naturalnych	45,21	68,67	31	13,01	89
	starzone w war. sztucznych	56,48	82,96	42	16,1	89

w przegrodach zewnętrznych – stolارce okiennej oraz elewacjach. Okładziny elewacyjne z drewna stosowane są zarówno w budownictwie jednorodzinny, jak i kubaturowym [5]. Przykładami udanych realizacji z elewacją drewnianą są biurowiec Pixel w Poznaniu (cedr), Przystań Miejska w Bydgoszczy (jesion), Służewiecki Dom Kultury w Warszawie (modrzew), Ho-

tel Różany w Gdyni (cedr). Zastosowanie okładzin elewacyjnych z drewna w wielu przypadkach, także wymienionych, wiąże się z koniecznością spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Aby im spro-

Tabela 2. Wyniki badań adhezji oraz cech estetyczno-dekoracyjnych powłok ogniochronnych

Seria	Rodzaj próbek	Wygląd zewnętrzny ¹⁾			Adhezja	Połysk	Barwa, współrzędna		
		sp	sk	z	stopień	GU	L*	a*	b*
KC	niestarzone	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0	0,9	49,4	24,5	32,5
	starzone w war. naturalnych	0(S0)	0(S0)	0(S0)	2	0,8	49,4	25,0	34,1
	starzone w war. sztucznych	0(S0)	4(S3)c ²⁾	0(S0)	3	0,7	45,3	17,9	25,5
SC	niestarzone	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0	2,3	66,1	10,5	25,1
	starzone w war. naturalnych	0(S0)	0(S0)	0(S0)	3	2,0	56,4	12,0	19,2
	starzone w war. sztucznych	0(S0)	3(S5)b ²⁾	5(S5)b ²⁾	5	2,2	66,9	5,3	18,8
KM	niestarzone	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0	0,9	49,1	25,2	32,9
	starzone w war. naturalnych	0(S0)	0(S0)	0(S0)	3	0,8	48,5	25,9	32,9
	starzone w war. sztucznych	3(S3)	3(S4)c ²⁾	0(S0)	3	0,7	47,8	24,4	30,7
SM	niestarzone	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0	2,2	65,2	10,3	29,4
	starzone w war. naturalnych	0(S0)	0(S0)	0(S0)	3	1,8	69,8	7,8	26,2
	starzone w war. sztucznych	0(S0)	2(S5)c ²⁾	4(S5)b ²⁾	5	2,3	68,1	5,7	19,6
KO	niestarzone	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0	0,9	49,8	26,2	34,9
	starzone w war. naturalnych	0(S0)	0(S0)	0(S0)	3	0,8	50,3	25,2	33,2
	starzone w war. sztucznych	0(S0)	0(S0)	0(S0)	3	0,7	48,5	24,8	32,5
SO	niestarzone	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0	2,2	57,7	15,4	23,3
	starzone w war. naturalnych	0(S0)	0(S0)	0(S0)	1	1,9	60,9	13,6	21,5
	starzone w war. sztucznych	0(S0)	0(S0)	0(S0)	2	2,5	73,4	4,5	16,3

¹⁾ sp – spęcherzenia, sk – spęknięcia, z – złuszczenia; ²⁾ ukierunkowane, równoległe do włókien

stać, drewno zabezpiecza się, stosując różnorodne środki ogniochronne. Działają one na drodze chemicznej lub/i fizycznej, w stałej, ciekłej lub gazowej fazie. Zakłócają proces spalania w określonym jego stadium, tj. podczas ogrzewania, rozkładu, zapłonu lub rozprzestrzeniania się ognia [6].

Skuteczne i trwałe zabezpieczenie drewna przed działaniem ognia jest często trudne do uzyskania, zwłaszcza w przypadku gatunków egzotycznych, charakteryzujących się niską podatnością na nasycanie i uszlachetnianie. Związana jest ona ze specyficzną budową anatomiczną, która utrudnia impregnację środkami bezpowłokowymi oraz wysoką zawartością składników ekstrakcyjnych (olejków eterycznych, garbników, barwników, tłuszczów, substancji białkowych i mineralnych), obniżających zwilżalność powierzchni oraz inhibitujących procesy zestalania się lakierów, czego konsekwencją jest obniżenie trwałości zabezpieczeń środkami powłokotwórczymi [1].

Trwałość zabezpieczeń ogniochronnych drewna jest tematem podnoszonym przez wiele zespołów badawczych, głównie w kontekście utraty właściwości ogniochronnych pod wpływem warunków środowiskowych [2, 3, 4, 7]. Nieliczne prace dotyczą zmian cech estetyczno-dekoracyjnych. Przyjmuje się, że zabezpieczenie jest trwałe, gdy szybkość wydzielania ciepła, przed i po starzeniu, nie przekracza 60 kW/m^2 , a spadek całkowitego wydzielania ciepła, po oddziaływaniach starzeniowych, jest nie większy niż 20%.

2. Materiał doświadczalny

W pracy uwzględniono drewno 3 gatunków, wytypowane z aktualnej oferty rynkowej okładzin elewacyjnych: cedr czerwony (*Thuja plicata* Donn. ex D. Don), modrzew syberyjski (*Larix sibirica*) oraz okoume (*Aucoumea klaineana* Pierre). Zakupiono deski elewacyjne, które pocięto na próbki o wymiarach $15 \div 19 \times 300 \times 75 \text{ mm}$. Dokonano selekcji drewna, biorąc pod uwagę cechy jakościowe. Wybrano elementy bez wad. Średnia gęstość drewna wynosiła 380 kg/m^3 – cedr czerwony, 640 kg/m^3 – modrzew syberyjski oraz 390 kg/m^3 – okoume, a wilgotność $12 \pm 2 \%$.

Badaniami objęto dwa powłokotwórcze środki ogniochronne, przeznaczone do ogniochronnego zabezpieczenia i dekoracyjnego wykończenia drewna stosowanego w warunkach zewnętrznych. Na potrzeby pracy oznaczono je symbolami K oraz S. Środek K to jednoskładnikowy lakier wodorozcieńczalny, wytwarzany na bazie żywic poliuretanowych i akrylowych. Środek S to jednoskładnikowy, bezbarwny lakier rozpuszczalnikowy, wywarzony na bazie żywic alkilowych. Lakiery nanoszono w warunkach laboratoryjnych, przy użyciu pędzla, w trzech warstwach. Łączna wielkość naniesienia wyniosła 210 g/m^2 . Przygotowano 6 serii badawczych: KC i SC – lakier odpowiednio K i S na drewnie cedr czerwony, KM i SM – lakier K i S na drewnie modrzew syberyjski oraz KO i SO

– lakier K i S na drewnie okoume. Lakier K utworzył powłokę w deklarowanym kolorze pinii, częściowo odstawiającą rysunek drewna. Z lakieru S otrzymano powłokę bezbarwną. Grubość uzyskanych powłok, określona wg PN-EN ISO 2808, przy użyciu miernika ultradźwiękowego, wyniosła średnio 71 mm – KC, 57 mm – KM, 61 mm – KO, 72 mm – SC, 73 mm – SM i 73 mm – SO.

3. Metody badań

Przeprowadzono starzenie w warunkach sztucznych, z użyciem aparatu UV Test, wyposażonego w lampy fluorescencyjne, jako źródło światła oraz w warunkach naturalnych, na poligonie w Warszawie. Sztuczne starzenie realizowano zgodnie z PN-EN 927-6. Próbkę poddano 6 nieprzerwanym cyklom, trwających łącznie 1008 h. Każdy cykl obejmował 24 h nawilżania przez kondensację, przy $\text{BST } 45 \pm 3^\circ\text{C}$ oraz 168 h oddziaływań o następującym przebiegu: 2,5 h naświetlania – lampy UVA340, natężenie $0,89 \text{ W/m}^2$ (340 nm), $\text{BST } 60 \pm 3^\circ\text{C}$ oraz 0,5 h deszczowania wodą demineralizowaną, bez UV. Starzenie w warunkach naturalnych wykonano według PN-EN 927-3. Próbkę umieszczono w pozycji poziomej, na stojakach nachylonych pod kątem 45° , skierowanych powierzchnią ekspozycyjną w kierunku równika. Ekspozycję prowadzono 6 miesięcy, od maja do listopada.

Jako cechy diagnostyczne odporności powłok ogniochronnych na starzenie przyjęto właściwości ogniowe, adhezję oraz cechy estetyczno-dekoracyjne. Badania właściwości ogniowych przeprowadzono wg ISO 5660 cz. 1. Zastosowano moc stożkowego grzejnika 50 kW/m^2 . Badanie trwało 22 min., a wartości średnie obliczono dla 20 min. Określono szybkość wydzielania ciepła (HRR), całkowite wydzielanie ciepła (THR1200), czas do zapalenia, efektywne ciepło spalania oraz stratę masy. Badania adhezji wykonano wg PN-EN ISO 2409, wyglądu zewnętrznego, w zakresie spęcherzenia, spękania złuszczenia, wg PN-EN ISO 4328-2, -4 i -5, połysku wg PN-EN ISO 2813 (60°), zaś barwy wg PN ISO 7724-1, -2 i -3 (geometria pomiarowa: d/8, 10° , D65, bez pułapki połysku).

4. Wyniki badań

Wyniki badań zestawiono w tabelach 1 i 2. Na rysunku 1 przedstawiono kształtowanie się wybranych właściwości ogniowych w czasie, na przykładzie serii SO.

Poddając analizie wyniki badań właściwości ogniowych można zauważyć, że wszystkie testowane rozwiązania wykazywały charakterystyczny „dwugarbny” przebieg zmian HRR w czasie. Za pierwszy „garb” odpowiada powierzchniowe zapalenie, drugi zaś związany jest raczej ze spalaniem podpowierzchniowych warstw próbek i nie wykazuje zależności od rodzaju starzenia – zabezpieczenie, o ile zostało po starzeniu, dotyczyło warstw wierzchnich. Największe wartości HRR wykazały próbki starzone w warunkach sztucznych, następnie naturalnych, a najniższe próbki niestarzone. Analogiczne za-

leżności uzyskano w przypadku całkowitego wydzielenia ciepła, THR1200, co prawdopodobnie związane było z zawartością środka ogniochronnego, największej dla próbek niestarzonych, najmniejszej dla próbek starzonych w warunkach sztucznych. Podobny przebieg miały także zmiany masy w czasie. Największe ubytki w pierwszej fazie spalania i po zakończeniu badania wykazały próbki starzone w warunkach sztucznych.

Porównanie rezultatów badań właściwości ogniowych, z kryteriami podanymi w punkcie 1, prowadzi do wniosku, iż zabezpieczenie ogniochronne lakierem K aplikowanym na drewnie cedr czerwony i okoume zachowało stałość właściwości ogniowych, niezależnie od rodzaju starzenia. Zastosowanie tego samego lakieru na drewnie modrzew syberyjski nie przyniosło oczekiwanych efektów. Powłoka, nawet niestarzona, nie spełniła kryteriów. Zabezpieczenie przed działaniem ognia drewna cedr czerwony oraz modrzew syberyjski, wykonane przy użyciu lakieru S wykazało niedostateczną odporność na starzenie w warunkach sztucznych, a w przypadku serii SM, także naturalnych. Ten sam lakier zabezpieczył natomiast skutecznie i trwale drewno okoume.

Analiza rezultatów badań zamieszczonych w tabeli 2 wskazuje, że zmianom właściwości ogniowych towarzyszyło obniżenie adhezji, od najwyższego stopnia 0 przed starzeniem do stopnia od 1 do 3 po starzeniu w warunkach naturalnych i stopnia od 3 do 5 po ekspozycji w aparacie starzeniowym. Najniższą przyczepnością, odpowiadającą stopniowi 5, charakteryzowały się powłoki z lakieru S wytworzone na drewnie cedr czerwony i modrzew syberyjski, poddane przyspieszonemu starzeniu w warunkach sztucznych.

W parze z tymi zmianami szła często utrata walorów estetyczno-dekoracyjnych. Po starzeniu w warunkach sztucznych istotniej zmianie uległ wygląd powłok ogniowych, zarówno z lakieru K, jak i S, wykonanych na drewnie cedr czerwony i modrzew syberyjski. Stwierdzono liczne i rozległe spękania. W przypadku powłok z lakieru S towarzyszyły im złuszczenia, a w serii KM zaobserwowano także spęcherzenia. Te same zabezpieczenia, poddane starzeniu w warunkach naturalnych, nie wykazały zmian wyglądu. Powłoki na drewnie okoume, niezależnie od oddziaływań, nie uległy destrukcji. Połysk powłok, zarówno z lakieru K, jak i S, matowych przed starzeniem, uległy nieznacznemu obniżeniu.

Barwa powłok z półtransparentnego lakieru K uległa nieznaczącej zmianie, w kierunku przyciemnienia. Zdecydowanie bardziej zmienił się kolor zabezpieczeń z lakieru S. Uległy one rozjaśnieniu. Zaobserwowano również obniżenie wartości współrzędnej barwy a^* , odpowiedzialnej za udział koloru czerwonego. Zmniejszyły się również wartości współrzędnej b^* , co wskazuje na obniżenie indeksu koloru żółtego.

5. Podsumowanie

Rezultaty przeprowadzonych badań wskazują na istotnie zróżnicowaną, ściśle powiązaną z gatunkiem drewna, trwałość powłokotwórczych zabezpieczeń ogniochronnych. Poddanie testowanych rozwiązań przyspieszonemu starzeniu w warunkach sztucznych spowodowało, w przypadku zabezpieczeń lakierem rozpuszczalnikowym drewna cedr czerwony oraz obydwojoma rozpatrywanymi lakierami drewna modrzew syberyjski, utratę właściwości ogniowych, przyczepności i cech estetyczno-dekoracyjnych. Starzenie w warunkach naturalnych nie zmieniło tak istotnie charakterystyk zabezpieczeń, przy czym należy zaznaczyć, że analizowano wyniki z okresu początkowej, sześciomiesięcznej ekspozycji. Zabezpieczenia drewna okoume zachowały stałość właściwości użytkowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Hiribayashi Y., Nakano T., (1997): Adhesive and coating properties on tropical woods; *Makuzai Gakkaishi* 43, 356–363
- [2] Östman B., Tsandaridis L., (2007): Durability of the reaction to fire performance of FRT wood products in interior and exterior applications, *Interflam 2007*
- [3] Östman B., Tsandaridis L., Mikkola E., Hakkarainen T., Belloni K., Brumer H., Piispanen P., (2006): Innovative eco-efficient high fire performance wood products for demanding applications, Final report for Vinnova–Tekes project InnoFireWood, SP Swedish National Testing and Research Institute, s. 95
- [4] Steen-Hansen A., Kristofferson B., (2007): Assessment of fire properties for painted surfaces in escape routes, *Interflam 2007*
- [5] Sudol E., Sulik P., (2013): Problematyka wykorzystania drewna egzotycznego w zewnętrznych przegrodach budowlanych; *Budownictwo i Architektura*, Vol.12(3), s. 27–34
- [6] Wesotek D., Wójcik R., (2010): Palność i zabezpieczenie ogniochronne drewna. Skuteczne zabezpieczenie, *Lakiernictwo Przemysłowe*, 2010; s. 20–25
- [7] White R., (2009): Accelerated weathering of fire-retardant-treated wood for fire testing. Recent advances in flame retardancy of polymeric materials, Wellesley, BCC Research, 2009, s. 246–256