

mgr inż. **Monika NAGRODZKA**

mł. bryg. mgr inż. **Daniel MAŁOZIĘĆ**

Zespół Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości

CNBOP-PIB

## **IMPREGNACJA DREWNA ŚRODKAMI OGNIOCHRONNYMI**

### **Impregnation of the wood by flame retardants**

#### **Streszczenie**

W niniejszym artykule opisano budowę chemiczną i zastosowanie środków ognioochronnych przeznaczonych do ochrony drewna przed ogniem. Na wstępie przedstawione zostały podstawowe informacje o budowie drewna i jego reakcji na ogień. Dalsza część artykułu dotyczy stosowania środków ognioochronnych w impregnacji wyrobów z drewna. W pracy zamieszczono opis poszczególnych grup dodatków uniepalniających pod względem budowy chemicznej, ich mechanizm działania oraz przedstawione są przykłady różnych sposobów impregnacji. Dzięki znajomości wpływu sposobu wykonywania impregnacji na palność oraz wiedzy o zjawiskach występujących w procesie spalania, można zaplanować i dobrać właściwe rozwiązanie do każdego przypadku, w celu uzyskania określonej klasy reakcji na ogień wyrobów wykonanych z drewna.

#### **Summary**

This article describes the role, chemical composition and the use of fire resistant compounds designated for wood protection against fire. In the beginning, basic information about the wood structure and its reaction to fire are presented. This article concerns also the application of fire resistant treatments in wooden materials. Different fire retardant additives are described in terms of this chemical composition, their mechanism of action and there are given the examples of various types of application.

With the knowledge of the impact of type of application on the materials' flammability and the knowledge about the phenomena occurring in the fire process, we can plan and choose the best solution in any cases, where we have to increase fire resistant of wooden elements.

**Słowa kluczowe:** środki ogniochronne dla drewna, impregnaty uniepalniające;

**Keywords:** wood flame retardants, wood fire-retardant measures, wood retardants;

## Wstęp

Drewno, jako materiał budowlany jest stosowany od wieków i z czasem zaczęto również stosować materiały pochodzenia naturalnego do ograniczenia palenia. Już w czasach starożytnych, np. w Chinach, drewno smarowano roztworem gliny lub nakładano na nie warstwę gliny, aby opóźnić czas do zapalenia konstrukcji budynku. W starożytnym Egipcie stosowano do krycia dachów trzcinę i trawę, moczo w wodzie morskiej i suszono. Wykryształowane w ten sposób sole mineralne utrudniały zapalenie materiału i spowalniały proces rozprzestrzeniania się płomieni po jego powierzchni [14]. W Egipcie również jako środek ogniochronny był stosowany powszechnie roztwór ałunu.

Drewno, chociaż posiada wiele zalet, m.in. wysoką wytrzymałość mechaniczną, dzięki którym może być wykorzystane do budowy wielu elementów elewacji budynków i wyposażenia wnętrz, do budowy lekkiej konstrukcji budowlanej itp. Jest także dobrym izolatorem termicznym, jest materiałem dźwiękochłonnym, łatwym w obróbce i w technice łączenia oraz jednocześnie wyróżnia się wysoką estetyką wyglądu. Jednak drewno nie modyfikowane ogniochronnie nie jest bezpiecznym materiałem pod względem pożarowym. Ze względu na dużą ilość atomów tlenu w swoim składzie, materiał ten jest podatny na zapalenie. Podczas jego spalania tworzy się coraz grubsza, krucha warstwa zwęglona, która powoduje, że proces spalania drewna, w porównaniu ze spalaniem np. wielu tworzyw termoplastycznych, staje się procesem stosunkowo wolno rozwijającym się. Jednak w dalszej części trwania tego procesu, następuje pęknięcie bariery węglowej powodując tym samym, że proces spalania zaczyna przebiegać intensywniej. To sprawia, że drewno ostatecznie traci swoje właściwości wytrzymałościowe. Proces tworzenia się na powierzchni drewna warstwy zwęglonej powoduje, że elementy drewniane w konstrukcji budowlanej wykazują, w stosunku do elementów aluminiowych czy stalowych, zaskakującą właściwość, polegającą na większej odporności ogniowej dla elementów o dużych przekrojach. Można to wytłumaczyć tym, że warstwa zwęglona stanowi izolację cieplną, chroniącą tym samym przed szybkim postępem procesu spalania w głąb elementów lub konstrukcji budowlanej.

Z uwagi na swoje korzystne właściwości i na ogromne zapotrzebowanie rynku budowlanego, wyeliminowanie drewna lub zastąpienie tego materiału jest niemożliwe. Zastępowanie drewna jest także niewskazane ze względu na jego niepodważalne zalety, jakimi chociażby są: ekonomiczność produkcji w porównaniu z technologiami innych materiałów budowlanych, ekologiczna estetyka powstałych pomieszczeń i wyposażenia wnętrz oraz związany z walorem estetycznym, specyficznym dla tego materiału, przyjazny

dla człowieka mikroklimat. To wszystko sprawia, że drewno nadal jest materiałem używanym i pożądanym w budownictwie i żeby sprostać wymaganiom użytkowników i przepisom ochrony przeciwpożarowej, stosowane są impregnacje drewna, również w celu zabezpieczenia przed ogniem. Stąd też w ośrodkach naukowych wytwarzane są coraz to nowsze preparaty chemiczne, często określane w literaturze fachowej jako środki ogniochronne, zawierające składniki opóźniające bądź hamujące proces spalania drewna, tzw. uniepalniacze. Opracowanie takiego środka ogniochronnego dla drewna wymaga znajomości struktury budowy i składu chemicznego drewna oraz znajomości procesu jego rozkładu termicznego.

## **Struktura drewna i jego palność**

Drewno jest materiałem niehomogenicznym. W zależności od tego, czy pochodzi z drzewa iglastego, czy liściastego, odpowiednio, zbudowane jest głównie z wrzecioniowatych, wewnątrz pustych komórek z tzw. cewek, stanowiących 90% masy drzewa iglastego lub z włókien, które stanowią ok. 55% masy drzewa liściastego oraz z komórek cienkościennych, stanowiących funkcję przewodzącą składników odżywczych tzw. miękiszu. W przypadku drzew iglastych funkcję przewodzenia wody pełnią właśnie cewki a u drzew liściastych tkanką przewodzącą wodę stanowią nieliczne cewki oraz tkanki zbudowane z cylindrycznych naczyń, znajdujących się pomiędzy żywymi komórkami miękiszu i pomiędzy martwymi komórkami włókien. W zależności od gatunku drewna liściastego, komórki włókien przybierają różne kształty: pierścieniowonaczyniowe (komórki mają kształt zamkniętych pierścieni), które są charakterystyczne m.in. dla dębu, wiązu, jesionu, lub są rozpieczętowane, czyli komórki rozłożone są równomiernie na całej powierzchni przekroju poprzecznego pnia drzewa, co jest charakterystyczne dla np. buku i brzozy [2].

Pod względem chemicznym drewno zbudowane jest z celulozy, hemicelulozy i ligniny. Ilościowy udział tych trzech związków jest zróżnicowany w zależności od gatunku drewna. Najważniejszym składnikiem jest celuloza  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , która w warunkach naturalnych również występuje w bawelnie, prawie w czystej postaci. Obok występującej celulozy obecne są inne polisacharydy – złożone węglowodany tzw. hemicelulozy, składające się z mniejszych węglowodanów zwanych pentozanami i heksozanami, które są zbudowane z kolei z jeszcze mniejszych węglowodanów tj. odpowiednio z ksylenu i arabanu oraz manganu, galaktanu i fruktanu. W porowatej strukturze drewna są obecne również

substancje ciekłe, czyli żywice i olejki eteryczne, które zaliczają się do substancji łatwo zapalnych a co za tym idzie ich zawartość również wpływa na intensywność spalania się danego gatunku drewna.

Niewątpliwie budowa chemiczna i struktura budowy wpływa na właściwości fizyczne danego gatunku drewna i jest ściśle związana z ciężarem właściwym. Pod tym względem w stanie powietrzno-suchym (czyli o wilgotności 12%) rozróżnia się następujące grupy drewna [5].

- bardzo ciężkie (ponad  $0,8 \text{ g/cm}^3$ ): grab, cis, bukszpan, gwajak, heban, eukaliptus i inne gatunki egzotyczne;
- ciężkie o ciężarze właściwym w granicach  $0,71 - 0,80 \text{ g/cm}^3$ : robinia, dąb, jesion, orzech, grusza;
- drewno umiarkowanie ciężkie o ciężarze właściwym w granicach  $0,61 - 0,70 \text{ g/cm}^3$ : brzoza, klon, jawor, jabłoń, modrzew, wiąz;
- drewno umiarkowanie lekkie o ciężarze właściwym w granicach  $0,51 - 0,60 \text{ g/cm}^3$ : jałowiec, kasztanowiec, mahoń;
- drewno lekkie o ciężarze właściwym w granicach  $0,41 - 0,50 \text{ g/cm}^3$ : sosna, świerk, jodła, olcha, lipa, cedr, cyprys;
- drewno bardzo lekkie, o ciężarze właściwym poniżej  $0,40 \text{ g/cm}^3$ : topola, balsa, wejmutka.

Do grupy najbardziej narażonej na zniszczenie ogniem, czyli do grupy materiałów stosunkowo łatwo zapalnych, bez zabezpieczeń ochronnych, należy drewno miękkie o gęstości objętościowej poniżej  $650 \text{ kg/m}^3$ , np. świerk i sosna. Do grupy materiałów stosunkowo trudno zapalnych w naturalnej postaci, zaliczane jest drewno twarde (z drzew liściastych) o gęstości powyżej  $800 \text{ kg/m}^3$ .

Skład chemiczny drewna, jego budowa strukturalna, decyduje o szybkości procesu spalania i jego wydajności cieplnej. Oprócz własności drewna np. gęstości lub ilości zawartej w drewnie wilgoci, na przebieg i intensywność procesu spalania mają wpływ również dodatkowe czynniki jak np. warunki spalania, grubość i kształt wytworzonego elementu z tego materiału.

Ekspozowane drewno na zewnętrzny strumień ciepła ulega rozkładowi termicznemu, dając palne i niepalne produkty lotne, palną pozostałość zwęgloną oraz niepalne minerały (popiół). Jeżeli szybkość emisji produktów lotnych jest wystarczająca do utworzenia

mieszaniny, w której składniki palne są w ich granicach zapalności, wtedy może nastąpić ich zapłon i jego rozprzestrzenienie się warunkujące ciągłość spalania drewna.

Można wyróżnić cztery główne etapy termicznej degradacji drewna:

- Etap I – ogrzewanie drewna do 200<sup>0</sup>C,
- Etap II – 200 – 280<sup>0</sup>C,
- Etap III – 280 – 500<sup>0</sup>C,
- Etap IV – powyżej 500<sup>0</sup>C.

W etapie I (temperatura < 200<sup>0</sup>C) zachodzi odparowanie wody, niepalnych produktów lotnych oraz powolny ubytek masy drewna. Egzotermiczne reakcje utleniania produktów rozkładu termicznego powodują powolne nagrzewanie się fazy lotnej. Do 280<sup>0</sup>C skład gazów po rozkładzie termicznym jest prawie niezmienny – dominuje dwutlenek węgla, para wodna, pochodne aromatyczne w postaci lotnych związków zawierające grupy: aldehydowe, alkoholowe.

Podczas rozkładu termicznego, drewno zwęglą się w wyniku zachodzącej reakcji rozkładu. W temperaturze około 200 - 260<sup>0</sup>C następuje rozkład termiczny hemicelulozy. W temperaturze około 240<sup>0</sup>C rozpoczyna się rozkład celulozy, a jego maksimum to temperatura około 280<sup>0</sup>C. Wartość ta odpowiada dokładnie temperaturze pirolizy  $\alpha$  – celulozy. Całkowity rozkład  $\alpha$  – celulozy ma miejsce w temperaturze 360<sup>0</sup>C przy szybkości ogrzewania 3<sup>0</sup>C/min. W temperaturze około 280<sup>0</sup>C rozpoczyna się rozkład ligniny, który osiąga maksymalną wartość przy 450<sup>0</sup>C. W przedziale temperatury 280–500<sup>0</sup>C powstała mieszanina produktów rozkładu termicznego jest mieszaniną palną i zapala się od pilotowego zewnętrznego źródła ciepła. Tworzenie się warstwy węgla zmniejsza szybkość emisji gazów lotnych produktów rozkładu termicznego, aż do prawie zaniku ich emisji w temperaturze powyżej 500<sup>0</sup>C. Proces spalania płomieniowego drewna przechodzi do procesu bezpłomieniowego warstwy węglowej (spalanie heterogeniczne). Ubytek masy związany jest już tylko z rozkładem węgla drzewnego. O ile gazowe produkty rozkładu spalają się płomieniem dyfuzyjnym to o tyle powstały węgiel spala się bezpłomieniowo, czyli tli się. Ilość gazów po rozkładzie termicznym smoły i węgla zmienia się bardzo w zależności od temperatury, ciśnienia i szybkości grzania podczas rozkładu termicznego lub pirolizy drewna zachodzącej w temperaturze ponad 350<sup>0</sup>C. Szybkość ogrzewania termicznego lub pirolizy drewna ma wpływ na ilość i typ wszystkich produktów rozkładu. Szybkie ogrzewanie drewna powoduje, że w wyniku rozkładu termicznego tworzy się stosunkowo mało warstwy

zwęglonej, dużo smoły, a produkty lotne są wysoce łatwo zapalne. I odwrotnie: mała szybkość ogrzewania powoduje tworzenie się większej ilości warstwy węglowej, małej ilości smoły, a produkty lotne charakteryzują się umiarkowaną podatnością do inicjacji reakcji spalania.

### **Środki ogniochronne w drewnie i zawarte w nich retardanty**

Obecnie stosuje się bardzo wiele środków zabezpieczających drewno przed ogniem. Znalazły one szerokie zastosowanie w budownictwie, meblarstwie, w przemyśle okrętowym. W przypadku zastosowania zabezpieczenia drewnianych budynków zabytkowych, odpowiednio dobrane preparaty, praktycznie okazują się być niezastąpione. Z jednej strony pełnią funkcję ochronną przed ogniem, a z drugiej zachowują autentyczny wygląd zabytkowej, chronionej powierzchni. Dodatkowym walorem użycia impregnatu ogniochronnego w pracach wykończeniowych elewacji budynków, jest możliwość zabezpieczenia przed korozją biologiczną. Sprawcami takiej korozji są insekty i niektóre grzyby, dla których drewno bez impregnacji jest środowiskiem sprzyjającym do ich rozrostu i rozmnażania się.

Z definicji preparat ognioochronny dla drewna powinien opóźnić moment zapalenia się materiału drewnianego, zmniejszać szybkość powierzchniowego rozprzestrzeniania się płomieni i zmniejszać intensywność spalania się materiałów palnych. Dla lepszej użyteczności dobry preparat powinien być stabilny chemicznie, posiadać właściwości grzybobójcze, a w przypadku zabezpieczenia elementów zewnętrznych, narażonych na czynniki atmosferyczne, powinien być odporny na działanie czynników atmosferycznych. Ponadto, w świetle przepisów, dotyczących ochrony środowiska i ekologii oraz dla zachowania właściwości użytkowych drewna, środek ognioochronny nie powinien być:

- toksyczny dla ludzi i zwierząt w warunkach normalnej eksploatacji zabezpieczonego materiału oraz nie powinien emitować toksycznych produktów podczas rozkładu termicznego w wysokiej temperaturze;
- zmieniać właściwości fizykochemiczne zabezpieczonego drewna, jak: barwa, właściwości mechaniczne.

Mechanizm działania środków ognioochronnych (FR) stosowanych do drewna polega na zakłóceniu procesu spalania, na określonym stadium jego przebiegu. Może wpływać na proces spalania podczas reakcji chemicznej FR i/lub procesów fizycznych, w fazie stałej lub gazowej. W zależności od metody ingerencji FR w procesie spalania drewna,

charakterystycznego dla poszczególnych rodzajów środków ogniochronnych, różni się oddziaływanie na etapie ogrzewania, rozkładu, zapłonu lub rozprzestrzeniania się ognia. Jest to uzależnione od rodzaju wchodzących w skład środków ogniochronnych, poszczególnych związków uniepalniających. Najskuteczniejsze są środki ogniochronne, które działają we wszystkich lub przynajmniej w kilku fazach spalania i dlatego na ogół w środkach ogniochronnych występuje mieszanina wielu uniepalniaczy, w odpowiednio dobranych proporcjach. Posiadając podstawową wiedzę o rodzajach środków gaśniczych stosowanych w pożarnictwie, można łatwo wskazać niektóre rodzaje stosowanych retardantów. Takimi są związki halogenowe ze szczególnym uwzględnieniem nieorganicznych chlorków i bromków oraz niektóre związki organiczne z wbudowanym atomem chloru, np. chloroparafina. Mechanizm działania takich uniepalniaczy również jest do przewidzenia. Z racji obecności halogenków w strukturze ich budowy, mechanizm opiera się na inhibicji łańcuchowej reakcji spalania w fazie gazowej. Inne środki uniepalniające, należące do grupy związków nieorganicznych, zakłócają proces spalania również na etapie rozprzestrzeniania się ognia a także wchodzi w ingerencję procesów fizykochemicznych podczas spalania na etapie: ogrzewania, rozkładu w fazie stałej i/lub gazowej. Jako związki uniepalniające drewno, należące do grupy związków nieorganicznych mogą być stosowane sole fosforanowe, siarczanowe, związki z obecnością grupy amonowej, związki borowe, niektóre wodorotlenki. Przykładami skutecznych uniepalniaczy są następujące związki: fosforan amonu, kwas borowy lub mieszanina tych dwóch związków oraz borany i chlorki: wapnia, magnezu, cynku, cyny (II), amonu, siarczan amonu, związki fosforanowe amonu, krzemian sodu, wodorotlenek sodu, siarczan wapnia, siarczan miedzi. W połowie XX wieku jako szczególnie przydatne wskazano związki uniepalniające takie jak: dwuwodorofosforan amonu ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ), boran sodu ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), kwas borowy ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), chlorek cynku ( $\text{ZnCl}_2$ ), wspomniany wcześniej siarczan amonu  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ , wodorofosforan amonu  $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$  oraz mieszanina siarczanu amonu i fosforanu amonu  $[(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4]$  (80:20) [7].

Do najczęściej stosowanych uniepalniaczy w środkach ogniochronnych dla drewna, należących do grupy związków organicznych, zaliczane są związki zawierające atomy azotu np. melamina, mocznik, guanidyna oraz związki fosforoorganiczne np. fosforan melaminy, związki fosforowo-azotowe i fosforowo-halogenowe.

Mechanizmy działania środków ogniochronnych oparte są na czterech podstawowych teoriach dokładniej wyjaśniających różnicę w sposobie działania środków ogniochronnych:

1. teoria powłokowa,
2. teoria termiczna,

**Sformatowano:** Wcięcie: Z lewej: 1,27 cm, Pierwszy wiersz: 0 cm, Numerowanie + Poziom: 1 + Styl numeracji: 1, 2, 3, ... + Rozpocznij od: 1 + Wyrównanie: Na lewo + Wyrównanie: 0 cm + Tabulator po: 0,63 cm + Wcięcie: 0,63 cm, Tabulatory: 1,27 cm, Tabulator listy + Nie w 0,63 cm

3. teoria gazowa,

4. teoria chemiczna. [2]

Pierwsza z nich – **teoria powłokowa** – wyjaśnia powstrzymywanie transportu ciepła do drewna przez utworzoną warstwę (powłokę) środka ogniochronnego zanim jeszcze materiał osiąga temperaturę rozkładu termicznego lub pirolizy, która również przyczynia się do spowalniania emisji gazowych produktów spalania.

**Teoria cieplna** odnosi się do przenikania ciepła przez tworzącą się warstwę węgla drzewnego. Poprzez powstałą w czasie procesu spalania coraz grubszą warstwę zwęglenia materiału, następuje spowolnienie przenikania ciepła do samego drewna. Taki mechanizm działania jest charakterystyczny dla zabezpieczeń drewna np. środkami solnymi. Teoria termiczna również odnosi się do zjawiska absorpcji cieplnej, która tłumaczy zjawisko nie zmieniającej się temperatury drewna podczas procesu pirolizy bądź rozkładu termicznego.

**Teoria gazowa** wyjaśnia mechanizm działania ogniochronnego, który polega na uwalnianiu gazów z impregnatów przeciwogniowych w warunkach podwyższonej temperatury podczas procesu spalania. Emitowane gazy są gazami niepalnymi, bądź gazami inhibitującymi reakcję spalania, działającymi poprzez spowolnienie lub przerywanie łańcuchowych reakcji rodnikowych zachodzących w płomieniu. Gazy niepalne powstają w wyniku rozkładu takich związków uniepalniających jak: uwodnione sole, węglany, halogenki, fosforany, siarczan amonowy, chlorek cynku, wapnia i magnezu a powstające emitowane gazy niepalne to najczęściej: para wodna, dwutlenek węgla, amoniak, bezwodnik kwasu siarkowego, bezwodnik kwasu fosforowego, chlorowodór. Gazami inhibitującymi zaś rodnikową reakcję łańcuchową są halogenki, czyli: chlor, brom, które powstają w wyniku rozkładu w wyższej temperaturze związków halogenowych, stosowanych jako uniepalniaczy.

Mechanizm działania FR zgodnie z **teorią chemiczną**, prowadzi do obniżenia początkowej temperatury procesu pirolizy lub rozkładu termicznego drewna oraz zmienia przebieg tego procesu poprzez tworzenie się większych ilości węgla, wody i niepalnych gazów oraz zmniejszenie się ilości tworzącej się palnej smoły i fazy gazowej (związki fosforowe).

Ze względu na sposób stosowania, środki ogniochronne do drewna dzielone są na dwie grupy:

- wnikające w drewno, najczęściej są to środki solne tzw. impregnaty ogniochronne stosowane do wglębnego nasycenia materiału chronionego w postaci stężonych roztworów wodnych,



- działające powierzchniowo w postaci farb (emulsji wodnych), lakierów, folii materiałów przekładowych i cienkich płyt zaporowych. Środki te tworzą na powierzchni drewna warstwę ochronną, często pęczniejącą na powierzchni pod wpływem wysokiej temperatury.

Do grupy związków wnikających w drewno, należą środki posiadające najczęściej w swoim składzie nieorganiczne związki: fosforu, boru, magnezu, amonu, cynku [14]. Do organicznych należą związki zawierające atomy azotu jak np. melamina, mocznik. Generalnie, impregnaty przeznaczone są do drewna surowego, nie pokrytego farbą, lakierem czy środkiem oleistym. Jednak z racji, że nie wiążą się chemicznie ze strukturą drewna, muszą być stosowane z dodatkową powłoką wodoodporną w celu zabezpieczenia elementów zewnętrznych. Nakładanie impregnatu wgłębnie, przeprowadza się metodą: próżniową lub próżniowo-ciśnieniową, metodą kąpieli zimnej i metodą kąpieli gorąco-zimnej.

W metodzie próżniowej - jak sama nazwa wskazuje – drewno, które jest poddane impregnacji, umieszczane jest w komorze, w której zaciąga się próżnię w celu wysysania powietrza z komórek, a następnie jest napełniane preparatem impregnacyjnym przy podciśnieniu. Podobnie jest w metodzie próżniowo-ciśnieniowej, gdzie wysysanie powietrza z porów drewna zachodzi pod wpływem wytwarzanego podciśnienia w komorze napełniającej.

Metoda kąpieli "zimnej" jest najprostszą, ale i najdłuższą trwającą metodą impregnacji drewna. Polega na zanurzeniu zabezpieczanych elementów w roztworze impregnatu. Czas nasycania uzależniony jest od rodzaju materiału i preparatu, np.: deska do grubości 2 cm jest zanurzona w kąpieli przez 1,5 h; bale do grubości 5 cm - 6,0 h; krawędziaki do 10 cm - 18,0 h; drewno okrągłe 10÷12 cm - 36,0 h [2]. W metodzie kąpieli "gorąco-zimnej" zanurzenie drewna trwa dwuetapowo. Najpierw w roztworze impregnatu o temperaturze 60÷65°C przez określony czas np. 2 h a następnie w temperaturze bliższej temperaturze otoczenia tj. 15-20°C przez dłuższy czas np. 5h. Ważne jest, że dla zagwarantowania skuteczności impregnacji w obydwu metodach kąpielowych należy dobierać drewno do wilgotności nie przekraczającej 28%. [2]

Przy stosowaniu środków powłokowych decydującą rolę odgrywa grubość i jakość powłoki ochronnej. Z natury rzeczy środki powłokowe zmieniają wygląd drewna, są stosowane tam, gdzie nie jest wymagane zachowanie naturalnego koloru i widocznych linii słoje drewna. Na powierzchnię suchego drewna środki powłokowe są nakładane przy użyciu pędzla, wałka bądź też metodą natrysku – pneumatycznego lub hydrodynamicznego.

Ogólnie powłoki ze względu na mechanizm, jakim realizują swoją funkcję ochronną, można podzielić na dwie grupy:

- powłoki absorbujące energię;
- powłoki pęczniące.

Do pierwszej grupy preparatów powłokowych, najczęściej stosowanych komponentów należą: szkło wodne, polioctan winylu, żywice aminowe, akrylowe, melaminowo-formaldehydowe, fenolowo-formaldehydowe, chloroparafina, związki fosforoorganiczne oraz wypełniacze jak: ziemia krzemkowa, gips, cementy, magnetyty, kreda, talk, perlit, wermikulit.

Istnieją również pęczniące środki powłokowe, które jak sama nazwa sugeruje, pod wpływem wysokiej temperatury lub bezpośredniego działania płomieni, tworzą spęczniałą warstwę węgla lub w przypadku zastosowania powszechnie stosowanych nanowarstw, tworzą warstwę krzemianów. Powstała zwęglona warstwa piany, stanowi izolacyjną barierę dla materiału z drewna, chroniącą przed zjawiskiem absorpcji ciepła i dostępem tlenu. Najbardziej pożądane w tej grupie środków powłokowych są żywice termoplastyczne, które miękną przy ogrzewaniu tworząc poszerzoną warstwę zwęgloną, a wraz z coraz to większymi wymaganiami w poszukiwaniu skuteczniejszych środków pęczniących, nowym trendem stało się tworzenie pęczniących układów powłokowych, opartych na budowie modyfikatorów o nanocząsteczkowej strukturze. Są to środki, które w stosunku do tradycyjnych środków powłokowych mają lepsze właściwości izolacyjne podłoża drewna przed nadmiernym wzrostem temperatury i dostępem tlenu. Dzięki wysokiej dyspersji cząstek w strukturze naniesionej powłoki, zmienia się znacząco przebieg procesu spalania i rozkład kompozycji pęczniącej a w konsekwencji, wpływa to na szybkość i strukturę tworzącej się warstwy zwęglonej. W wielu przypadkach nanowarstwy mogą w końcowym efekcie procesu wytwarzania przybierać postać powłoki transparentnej, co jest ogromną zaletą dla potrzeby zastosowania zabezpieczenia powierzchniowego z zachowaniem naturalnego koloru drewna. Do takich środków powłokowych należą spoiwa do farb wodorozcieńczalnych i rozpuszczalnikowych, których struktura budowy jest oparta na bazie zawierającej krzem, są to: silikony, siloksany, silany [11]. Również jako składniki ogniochronne stosuje się preparaty na bazie żywic krzemooorganicznych lub na bazie mieszanej krzemooorgano-nieorganicznej, które wchodzi w skład specjalnych wyrobów lakierowych a także zmodyfikowana nanotechnologicznie żywica na bazie żywic epoksydowych i silikonowych.

W przypadku, gdy nie jest konieczne zachowanie faktury i wyglądu drewna, powierzchnię tę można pokryć warstwą materiału niepalnego typu zaporowego. Stosuje się ją w przegrodach budowlanych o konstrukcji drewnianej np. lekkie ściany działowe, osłonowe oraz ściany nośne budynków niskich, stropy międzykondygnacyjne, które dodatkowo spełniają dodatkową funkcję pod względem wytrzymałości mechanicznej kondygnacji (budynku), ograniczają izolację termiczną i akustyczną zawartą między okładzinami oraz stanowią często ostateczne wykończenie dekoracyjne elementów budowlanych. Materiałem, który dobrze spełnia wymagania stawiane płytowym okładzinom ogniochronnym, dla drewnianych elementów budowlanych, jest płyta gipsowo-kartonowa. Jest to materiał wykonany z gipsu krystalizującego z wodą o wzorze chemicznym ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ), obustronnie oklejony kartonem. Gips pełni funkcję izolacji ogniowej a karton przyklejony po obydwu stronach rdzenia, zapewnia lepszą wytrzymałość mechaniczną danego elementu budowlanego. Dla wzmocnienia struktury płyt gipsowo-kartonowych i poprawy ich zachowania w pożarze, dodaje się zbrojenie rdzenia ciętego włókna szklanego (do około 0,2 % w stosunku do masy gipsu) [2].

Oprócz wszystkich wymienionych preparatów z opisanym mechanizmem działania, należy również wspomnieć o możliwości zastosowania techniki systemu ogniochronnego. W tym celu dopuszcza się przeprowadzenie dwóch lub więcej zabiegów zabezpieczających a wszystko po to, by jeszcze bardziej wzmocnić działanie ochrony drewna przed pożarem oraz zapewnić wysoką jakość pod innymi względami, stawianymi przez konkurencyjny rynek jako warunek konieczny do spełnienia. Dobrze zaimpregnowane drewno ogniochronnie powinno np. jednocześnie być skutecznie zabezpieczone przed niszczącym działaniem owadów i grzybów oraz wilgocią, a także mieć zachowaną estetykę naturalnego wyglądu. Dlatego obecnie, na rynku jest wiele preparatów oraz możliwości modyfikacji impregnacji. Począwszy od zwykłej powierzchniowej a skończywszy na kilkietapowej, której technika składa się z różnych metod.

## **Podsumowanie**

Drewno jest materiałem budowlanym, który w warunkach pożarowych stosunkowo łatwo ulega zapaleniu, rozkładowi termicznemu i szybko rozprzestrzeniają się po nim płomienie. Materiał ten i wyroby drewnopochodne zaliczają się do materiałów palnych. Pod względem reakcji na ogień jest klasyfikowane w klasie D, s1-s3, d0-d2, a po zabezpieczeniu środkami przeciwogniowymi, może być zaliczane do klasy B lub C, co oznacza, że może

znaleźć się w grupie materiałów określanych jako niezapalne, trudno lub łatwo zapalne. Charakterystykę pożarową tych materiałów można istotnie zmienić przez naniesienie na powierzchnię drewna lub wprowadzenie do ich struktur środków ognioochronnych. W zależności od właściwego doboru oraz prawidłowego zastosowania środków przeciwogniowych w odpowiednich stężeniach i przy odpowiedniej metodzie impregnacji, uzyskuje się w większym lub mniejszym stopniu skuteczne zabezpieczenie przed pożarem wyrobu wykonanego z drewna. W ten sposób zapobiega się nagłemu rozprzestrzenianiu ognia i zdecydowanie obniża się zapalność materiałów, co z kolei, ułatwia ugaszenie pożaru w jego fazie początkowej. Ważne jest, zatem przestrzeganie zasady, do jakiej metody impregnacji jest przeznaczony preparat oraz ważne jest uwzględnienie dodatkowych parametrów korelujących np. uwzględnienie współczynnika określającego faktyczne zużycie środka ognioochronnego.

Można stwierdzić, że każdy środek ognioochronny przeznaczony jest do zabezpieczania pewnego rodzaju wyrobów drewnianych o odpowiedniej grubości minimalnej. Porównując impregnację drewna metodą powierzchniową z impregnacją wgłębną przy zastosowaniu tego samego środka ognioochronnego, zazwyczaj uzyskuje się lepszy efekt ochronny dla impregnacji wgłębnej. Przykładem tego mogą być preparaty solne w roztworach wodnych 20-30%, które nanoszone na powierzchnię materiału nawet pięciokrotnie, w większości przypadków, przyczyniają się do zakwalifikowania badanego materiału jedynie do grupy materiałów trudno zapalnych. W stosunku do zabezpieczenia metodą impregnacji wgłębnej nie jest to wysoki efekt ognioochronny, gdyż w przypadku tej drugiej metody, przy zużyciu minimalnej optymalnej dawki (średnio 40 kg soli na 1 m<sup>3</sup> nasycanego drewna) drewno może osiągnąć klasyfikację materiału niezapalnego. Bywa też tak, że źle dobrany środek przyczynia się w efekcie do zwiększenia szybkości zwęglania zabezpieczonego elementu, a tym samym powoduje efekt odwrotny do zamierzonego. Dlatego też, zastosowanie preparatu ognioochronnego na szeroką skalę przy odpowiedniej metodzie impregnacji, powinno być poprzedzone badaniem stopnia palności (klasy reakcji na ogień) zabezpieczonego materiału.

## Literatura

1. Carter R. J., *Flame Retardation of Cellulose by Thiocyanates*, Preliminary Study, J. Fire Retardant Chemicals, 1981;
2. Chodorowski J., *Badanie szybkości zwęglania drewna sosny i dębu impregnowanych przeciwogniowo w warunkach cieplnych symulujących I fazie pożaru*, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, 2000;
3. Drysdale D., *An Introduction to fire dynamics*, John Wiley and Sons, London, 1992;
4. Garba B., [et.al.], *Effect of flame retardant treatment on energy of pyrolysis, Combustion of wood cellulose*, Fire and Materials, 1994;
5. Hawryluk Z., *Badanie szybkości zwęglania drewna o zróżnicowanej gęstości*, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, 2000;
6. Jaskółowski W., *Szybkość zwęglania i generacji ciepła podczas spalania drewna zabezpieczonego przeciwogniowo*, praca doktorska, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego, Poznań, 2001;
7. Lyons J.W., *The chemistry and uses of fire retardants*, Willey, Interscience, 1970;
8. Schaffer E., *Effect on fire retardant treatment on energy of pyrolysis, Combustion of wood cellulose*, Fire Retardant Chem. Suppl., 1974;
9. Surmiński J., *Ćwiczenia z podstaw nauk leśno-drzewnych*, Wydawnictwo Uczelniane, Poznań 1970;
10. Wiley John and Sons, *Encyclopedia of Chemical Technology*, London, 1992;
11. Brenden J. i inni, *Effect of inorganic salts on pyrolysis product of panderosa pine*, Forest Product Journal, 1965;
12. Brzeziński J.M., *Pokrycia ogniochronne zmniejszające palność na stal i drewno*, Bezpieczeństwo i Technika Pożarowa, CNBOP 2005;
13. Konecki M., Kosiarek M., Kolbrecki A., Fangrat J., *Badanie właściwości ogniowych drewna*, Inżynieria i Budownictwo nr 6/1991;
14. Kosiarek M., *Budynki o drewnianej konstrukcji szkieletowej a bezpieczeństwo pożarowe*, Lekkie Budownictwo Szkieletowe nr 4-5/1997;
15. Wesołek D., Wójcik R., *Palność i zabezpieczanie ogniochronne drewna - Uszlachetnianie powierzchni drewna. Część II*, Lakiernictwo Przemysłowe, Wydawnictwo Goldman Press, 2010;
16. Koniuch A., Małozieć D., *Proces spalania a pożar*, Szkolenie Strażaków Ratowników OSP, Część 1", CNBOP 2007;

**Sformatowano:**

Numerowanie + Poziom: 1 +  
 Styl numeracji: 1, 2, 3, ... +  
 Rozpocznij od: 1 +  
 Wyrównanie: Na lewo +  
 Wyrównanie: 0,63 cm +  
 Tabulator po: 1,27 cm +  
 Wcięcie: 1,27 cm, Tabulatory:  
 0,63 cm, Do lewej

**Sformatowano:**

Numerowanie + Poziom: 1 +  
 Styl numeracji: 1, 2, 3, ... +  
 Rozpocznij od: 1 +  
 Wyrównanie: Na lewo +  
 Wyrównanie: 0,63 cm +  
 Tabulator po: 1,27 cm +  
 Wcięcie: 1,27 cm, Tabulatory:  
 0,63 cm, Do lewej

17. Koniuch A., Małozieć D., *Rozwój pożaru*, Szkolenie Strażaków Ratowników OSP, Część 2, CNBOP 2007;
18. Małozieć D., Koniuch A., *Określanie właściwości pożarowych materiałów budowlanych i elementów wyposażenia wnętrz*, Ogólnopolskie Seminarium CNBOP, Józefów, 2008;
19. Małozieć D., *Metody impregnacji ochronnej drewna*, Ogólnopolskie Seminarium CNBOP Józefów, 2008;
20. Pofit – Szczepańska M., Małozieć D., *Analiza przydatności badań oporności elektrycznej węgla drzewnego i wielkości zwęglenia elementów drewnianych do określenia miejsca powstania pożaru*, I Międzynarodowa Konferencja „Badanie przyczyn powstawania pożarów”, Poznań 2003.

**Recenzenci**

**dr hab. Marzena Pólka, profesor SGSP**

**dr inż. Marcin Zbieć**