

Odporność ogniowa konstrukcji drewnianych

Jakub Przepiórka
Tomasz Szczesiak

Zdjęcia: archiwum firm Glulam, Hüttemann,
Simpson Strong-Tie, Konsbud

Drewno doskonale izoluje wysoką temperaturę pożaru od pozostałych pomieszczeń i bez problemu można tworzyć z niego przegrody ogniowe, jak stropy i ściany o odporności REI30 oraz REI60.

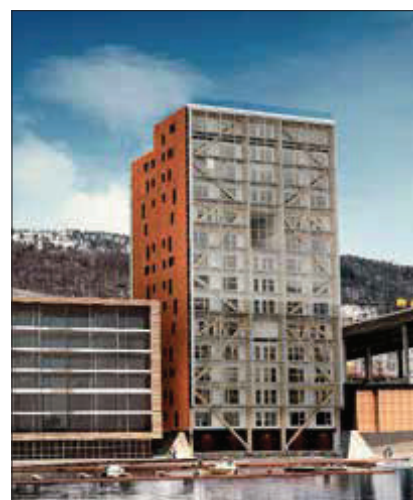
Temat odporności ogniowej konstrukcji drewnianych nieustannie budzi wiele rozbieżnych opinii oraz emocji. Dotyczy to w podobnej mierze zarówno projektantów, jak i osób związanych z prowadzeniem procesu budowlanego, czyli kierowników budów, inspektorów nadzoru itp. Wśród głównych materiałów stosowanych do wznoszenia konstrukcji (drewno, stal, beton, ceramika, aluminium) drewno jest jedynym palnym. Stąd zapewne stale pojawiające się skojarzenia większości osób, że nie może ono mieć odporności ogniowej samo w sobie. Czy na pewno? Drewno, które pod względem reakcji na ogień zgodnie z PN-EN 13501-1+A1:2010 najczęściej ma klasę D, potrafi cechować się wysoką odpornością ogniową, tj. zdolnością elementu do spełnienia w określonym czasie określonych funkcji użytkowych w warunkach pożaru. Wyraża się w minutach jako R15, R30, R60 itd. Należy jednak odróżnić drewno lite od drewna klejonego warstwowo, które spala się w sposób bardziej równomierny oraz wolniej od drewna litego. Przyczyną tego są chociażby występujące w drewnie litym większe

pęknięcia, przez które płomień może je głębiej penetrować.

Na świecie jest coraz więcej budynków wysokich oraz wysokościowych, których główna konstrukcja (oczywiście oprócz fundamentu) jest wznoszona z komponentów drewnianych, a jak wiadomo, budynki takie mają bardzo restrykcyjne wymagania w kwestiach pożarowych. Jest to bez wątplenia potwierdzeniem, że oprócz takich zalet, jak trwałość, odporność na trzęsienia ziemi, akumulacja CO₂, wysoka izolacyjność termiczna przegród, drewno charakteryzuje się wysoką odpornością, szczelnością oraz izolacyjnością ogniową. Normy i regulacje prawne często nie nadążają za rozwojem technologicznym. Jeszcze kilka lat temu w Stanach Zjednoczonych budowanie drewnianych konstrukcji było ograniczone prawnie do czterech pięter, a już dziś trwa wyścig w budowie jak najwyższych konstrukcji drewnianych. Dla przykładu w 2009 r. oddano do użytku w Londynie Stadthaus Murray Grove – 9-piętrowy drewniany apartamentowiec o wysokości 30 m, a w 2015 r. w Bergen w Norwegii – 14-piętrowy luksusowy apartamentowiec o wy-

sokości 49 m zbudowany w całości z drewna klejonego – 550 m³, oraz płyt wielowarstwowych CLT (ang. cross-laminated timber) – 385 m³.

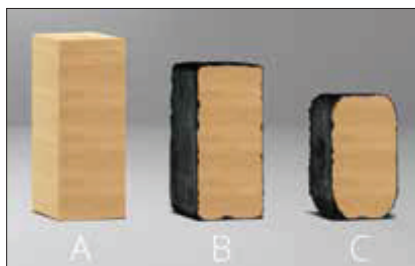
W trakcie budowy jest 18-piętrowy akademik Tall Wood o wysokości 53 m w Vancouver, zaprojektowany w łączonej technologii drewna, stali i betonu (ukończenie planowane jesienią 2017 r., budowa zakończy się prawdopodobnie szybciej, gdyż pierwotnie budowanie jednego piętra miało zająć tydzień, a trwa trzy dni).



Fot. 1 | 14-piętrowy apartamentowiec Treet w Bergen ukończony w 2015 r.

W planach są m.in.: HoHo Viena Tower w Austrii (84 m, złożony w 75% z drewna, zmagazynuje 2800 t CO², który nie trafi do atmosfery); 73-metrowy wieżowiec w Amsterdamie, którego budowa ruszyć ma w 2017 r.; 40-piętrowy budynek Trätöppen (korona drzew) o wysokości 133 m, z drewna klejonego oraz elementów CLT.

Jak widać, wzrost wysokości budynków w budownictwie drewnianym jest wyjątkowo szybki. Czy możliwe byłoby projektowanie i budowanie wieżowców z drewna w tak rozwiniętych krajach, gdyby nie gwarantowały one bezpieczeństwa pożarowego? Wiele światowych sław w dziedzinie architektury okrzyknęło już jakiś czas temu wiek XXI wiekiem nowoczesnych konstrukcji drewnianych (po wieku XIX zdominowanym przez stal i XX w. zdominowanym przez beton). Czy jest to realne? Wygląda na to, że tak. Co czyni drewno odpornym na działanie ognia? Otóż w drewnie poddanym działaniu wysokiej temperatury następuje proces pirolizy. Tworzy się zwęglona warstwa, która wraz z długością trwania pożaru przyrasta. Warstwa ta nie posiada właściwości nośnych, ale izoluje rdzeń, ograniczając dopływ tlenu, a co za tym idzie wzrost temperatury. Dzięki temu procesowi drewno pod obciążeniem ogniowym zachowuje się w sposób bardzo przewidywalny. Tymczasem niechro-



Fot. 2 | A – próbka wyjściowa, B – próbka po 30 minutach pożaru, C – próbka po 60 minutach pożaru



Fot. 3 | Zdjęcie obiektu po pożarze, widoczne uplastycznione elementy stalowe wiszące nadal przenoszącymi obciążenia elementami drewnianymi



Fot. 4 | Dźwigary z drewna klejonego utrzymujące swój profil jeszcze po pożarze

niona stal lub żelbet zachowują się w przypadku pożaru w sposób trudny do przewidzenia. Dzięki wprowadzeniu w naszym kraju Eurokodów projektowanie odporności ogniowej elementów drewnianych stało się przejrzyste i klarowne. Odbyna się na podstawie Eurokodu 5 [1].

Odporność ogniowa R

Uwaga! Przedstawione wnioski służą jedynie przybliżeniu tematyki oraz przedstawieniu podstawowych kroków obliczeniowych, nie mogą być podstawą do samodzielnego projektowania konstrukcji. Zarówno zbieranie obciążeń oddziałujących

na konstrukcję, jak i cały proces obliczeniowy w konkretnym projekcie muszą zostać każdorazowo przeprowadzone przez uprawnionego projektanta.

Eurokod 5 podaje wiele niezbędnych przy projektowaniu informacji i uproszczone metody obliczeń: metodę zredukowanych własności oraz metodę zredukowanego przekroju. Przedstawiony zostanie pokrótce schemat obliczeń wg drugiej metody, która jest zalecana przez autorów normy. Opisane metody odnoszą się do pożaru standardowego. Pożary parametryczne opisane są w odpowiednich załącznikach do normy.

PRZYKŁAD: Sprawdzenie nośności ogniowej R60 dźwigara dachowego. Dla przykładu przyjęto najpowszechniejszy spotykany na rynku model:

- belka wolno podparta z jedną podporą przesuwaną,
 - dźwigar dachowy z drewna klejonego warstwowo o stałym przekroju poprzecznym 20 x 132 cm,
 - rozpiętości – 20 m,
 - klasa drewna najbardziej popularna i powszechnie dostępna – GL24 h,
 - rozstaw osiowy dźwigarów – 6 m.
- Wartości charakterystyczne działających obciążeń:
- obciążenie stałe – 0,6 kN/m²
 - obciążenie zmienne śniegiem – 0,56 kN/m²

Wytrzymałość charakterystyczna drewna: $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$

Wytrzymałość obliczeniowa w warunkach pożaru:

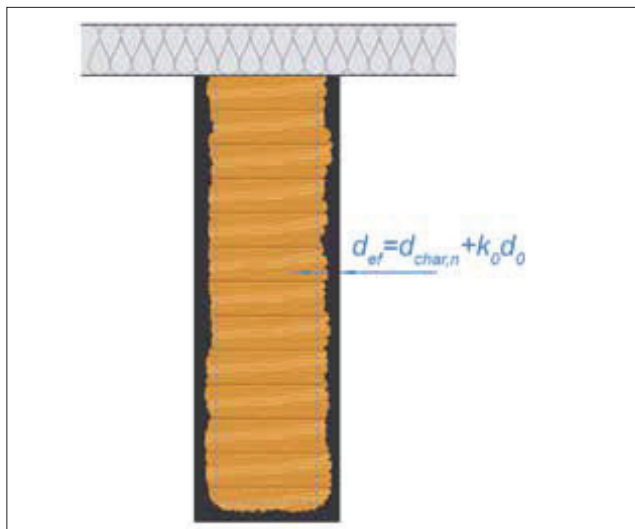
$$f_{d,fi} = k_{mod,m,fi} * k_{fi} * f_{k,m} / \gamma_{M,fi}$$

$k_{mod,m,fi}$ – współczynnik modyfikujący wytrzymałość w warunkach pożaru = 1,0

k_{fi} – współczynnik uwzględniający zwiększoną wytrzymałość drewna w warunkach pożaru, dla drewna klejonego warstwowo = 1,15

$\gamma_{M,fi}$ – współczynnik częściowy właściwości materiału w warunkach pożaru = 1,0

$$f_{d,fi} = 1,0 * 1,15 * 24 / 1,0 = 27,6 \text{ MPa}$$



Rys. 1 | Efektywna głębokość zwęglania przekroju drewnianego

Redukcja przekroju drewnianego:

Zgodnie z punktem 4.2.2 normy:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0$$

d_0 – głębokość warstwy o zerowej wytrzymałości

d_{ef} – efektywna głębokość zwęglania

$d_{char,n}$ – hipotetyczna głębokość zwęglania = $\beta_n \cdot t$

β_n – prędkość zwęglania z uwzględnieniem wpływu narożników dla drewna klejonego o gęstości charakterystycznej większej od 290 kg/m³ wynosi 0,7 mm/min.

t – czas w minutach,

k_0 – współczynnik równy 1,0 dla powierzchni niezabezpieczonej i $t \geq 20$ min

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

zatem:

$$d_{char,n} = 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = 42 \text{ mm} + 7 \text{ mm} = 49 \text{ mm}$$

Wyznaczenie zredukowanego przekroju dla ekspozycji na ogień z trzech stron:

$$\text{szerokość} = 200 - 2 \cdot 49 = 102 \text{ mm}$$

$$\text{wysokość} = 1320 - 49 = 1271 \text{ mm}$$

Przekrój przenoszący obciążenia po 60 minutach działania ognia to 10,2 cm x 127,1 cm.

Wskaźnik wytrzymałości na zginanie dla przekroju zredukowanego:

$$W_{y,d} = b_r \cdot h_r^2 / 6 = 0,0275 \text{ m}^3$$

gdzie: b_r – szerokość przekroju zredukowanego, h_r – wysokość przekroju zredukowanego

Nośność na zginanie w warunkach pożarowych:

$$R_{m,y,d,fi} = k_{crit} \cdot f_{m,d,fi} \cdot W_{y,d}$$

gdzie: $f_{m,d,fi}$ – wytrzymałość na zginanie w warunkach pożaru

W przykładzie uproszczonym przyjęto współczynnik $k_{crit} = 1$ (przekrój zabezpieczony przez zwichrzeniem. W takim przypadku należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, iż elementy zabezpieczające przed zwichrzeniem muszą posiadać nie mniejszą odporność ogniową)

A więc:

$$R_{m,y,d,fi} = 1,0 \cdot 27600 \cdot 0,0275 = 759 \text{ kNm}$$

Oddziaływania mechaniczne w warunkach pożarowych:

$$G_k = g_k \cdot z = 0,6 \cdot 6 = 3,6 \text{ kN/m}$$

$$Q_k = q_k \cdot z = 0,56 \cdot 6 = 3,36 \text{ kN/m}$$

G_k – wartość charakterystyczna obciążenia stałego

Q_k – wartość charakterystyczna obciążenia zmiennego

z – rozstaw między dźwigarami

Kombinacja oddziaływań w warunkach pożarowych wg wzoru:

$$E_{d,a} = G_k + \Psi_{1,1} \cdot Q_k$$

$\Psi_{1,1}$ – dla budynku zlokalizowanego na wysokości do 1000 m n.p.m. współczynnik = 0,2

$$E_{d,a} = 3,6 + 0,2 \cdot 3,36 = 4,272 \text{ kN/m}$$

Moment zginający w środku rozpiętości belki o długości L wynosi:

$$M_{y,d,fi} = E_{d,a} \cdot L^2 / 8 = 213,6 \text{ kNm}$$

Warunek nośności na zginanie w sytuacji pożarowej:

$$\frac{M_{y,d,fi}}{R_{m,y,d,fi}} < 1,0$$

$$213,6 / 759 = 0,28 < 1,0$$

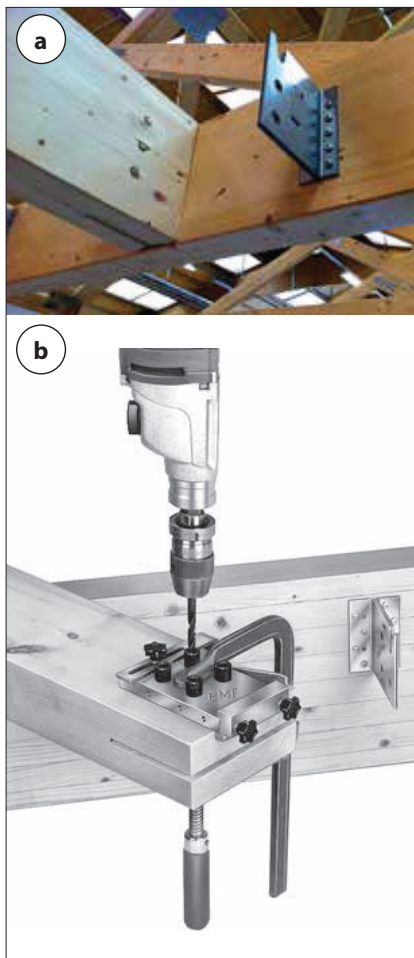
Jak widać, warunek został spełniony z dużym zapasem. To znaczy, że dobrany przekrój posiada nośność ogniową R60. Należy zwrócić uwagę, że przy układach belkowych w większości przypadków o doborze przekroju decyduje SGU (ugięcie) i w omawianym przykładzie ugięcie graniczne wykorzystane jest w ok. 90%, czyli przekrój dobrany jest ekonomicznie, a mimo to uzyskujemy wysoką odporność ogniową niejako „w standardzie”. Wynika to m.in. z doboru przekroju stosunkowo szerokiego (200 mm) w standardowej klasie wytrzymałościowej (GL24 h). A zatem mając na uwadze projektowanie konstrukcji mających przenosić większe obciążenia ogniowe, warto dobrać przekroje szersze w niższej klasie wytrzymałościowej aniżeli węższe w wyższej klasie. Przykład wyraźnie pokazuje, że duża odporność ogniowa drewna klejonego jest rzeczą pewną i prawdziwą.

Odporność ogniowa połączeń

Poza wymiarowaniem elementu drewnianego zgodnie z wytycznymi podanymi w Eurokodzie 5 część 1-2 na-

leży zaprojektować połączenia między elementami o co najmniej takiej samej odporności ogniowej. Kwestia poprawnego wykonstruowania połączeń

jest bardzo istotna, na równi z wymiarowaniem przekroju elementu. Analizując konstrukcję w warunkach pożarowych nie można bagatelizować



Fot. 5 | Montaż ukrytych wieszaków belek typu BTN

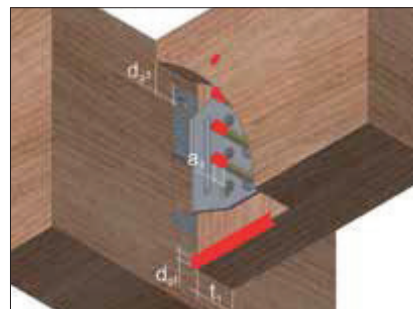
i pomijać tego zagadnienia. Może się okazać, że właśnie to połączenie jest najsłabszym ogniwem i to jego nośność ogranicza odporność ogniową całego elementu konstrukcyjnego. Dlatego też warto przedstawić opcje, jakie można zastosować, aby uzyskać połączenie o określonej odporności ogniowej.

Pierwszą z możliwości jest zastosowanie ukrytych wieszaków belek. Ukryte wieszaki belek są to złącza, które tworzą połączenia niewidoczne dla użytkownika. Ich głównym zastosowaniem są połączenia, które ze względów architektonicznych czy estetycznych nie mogą być widoczne. Dodatkową ich zaletą jest fakt,

że montując je wewnątrz elementu podwieszanego, tworzymy naturalną otulinę drewnianą. Odwołując się do sekcji 6 Eurokodu 5 część 1-2, można udowodnić odporność ogniową złącza tego typu.

Niestety połączenia ukryte są dość pracochłonne w montażu. Końcówkę belki podwieszanej należy przeciąć pionowo w osi elementu i precyzyjnie wywiercić otwory pod stalowe sworznie (fot. 5a). Problem polega na tym, że chcąc stosować zapisy normy, złącze musi być całkowicie otulone drewnem. W związku z tym należy dodatkowo wkleić drewnianą wkładkę w nacięcie w dolnej krawędzi belki i zaczipować otwory na sworznie. Minimalne wymiary, gwarantujące odporność ogniową połączenia, przedstawione są zgodnie z normą na rys. 2 i w tab. 1.

Jak widać, ukryte wieszaki belek, aby mogły uzyskać odporność ogniową w kontekście Eurokodu 5, muszą być dodatkowo zabezpieczone. Zabezpieczenie w taki sposób pojedynczych płatwi w niewielkim obiekcie nie jest nadmiernie uciążliwe dla wykonawcy. Jednakże w sytuacji, kiedy mamy do czynienia z obiektem halowym, liczba połączeń między płatwiami i dźwigarami głównymi może



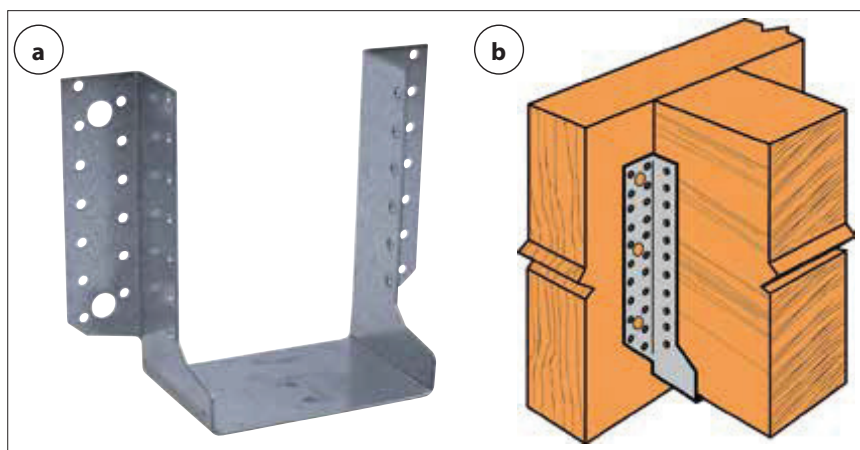
Rys. 2 | Wklejane wkładki i czopy do pełnego otulenia złącza

Tab. 1 | Minimalne wymiary wykładek

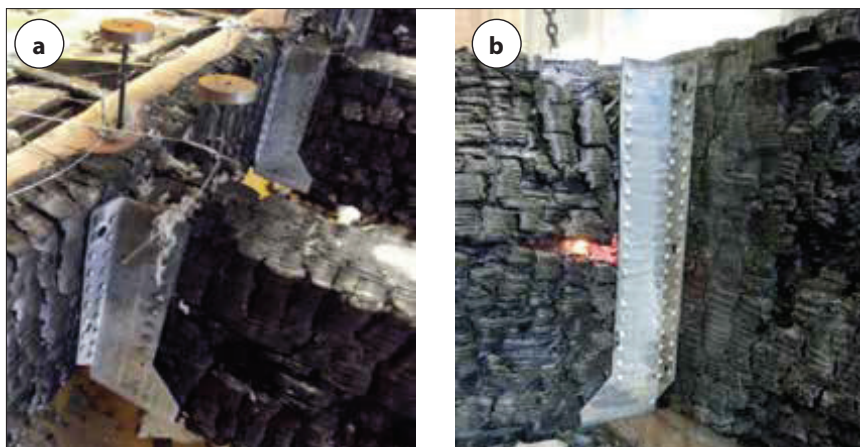
Wymiar	Wymagana odporność ogniowa	
	30 min	60 min
t_1	50 mm	50 mm
a_f	10 mm	30 mm
d_{g1}	10 mm	30 mm
d_{g2}	20 mm*	60 mm

*dla połączeń z wielkością szczeliny między elementami ≤ 1 mm wartości d_{g2} mogą być zastąpione wartościami d_{g1} , gdzie: t_1 – otulina drewniana po obu stronach złącza, a_f – grubość drewnianego czopu, d_{g1} – grubość wklejanej wkładki, d_{g2} – szerokość drewnianej otuliny skrzydełek bocznych wieszaka dla szczeliny między elementami ≤ 3 mm.

iść w setki lub tysiące. W takim przypadku ukrywanie wieszaków wewnątrz płatwi z dodatkowym zabezpieczeniem jest zajęciem niezmiernie pracochłonnym.



Fot. 6 | Wieszak belki GSE o przebadanej nośności ogniowej R30



Fot. 7 | Badanie odporności ogniowej wieszaków belek GSE

W dużych obiektach o powtarzalnych połączeniach sugeruje się zastosowanie drugiego typu połączeń z odpornością ogniową. Wieszaki belki GSE są jedynymi na rynku wieszakami odkrytymi o przebadanej odporności ogniowej. Odporność ogniowa zgodnie z EN 13501-2 przy ekspozycji na ogień wszystkich powierzchni wieszaka belki została określona i przebadana jako R30. Wartości nośności zostały określone na podstawie modelu statycznego stworzonego przez firmę Simpson Strong-Tie, zaopiniowanego i zweryfikowanego przez badania zgodne z EN 1365-2 i Wytycznymi do Europejskich Aprobatach Technicznych (ETAG 015) – Raport oceny wydany przez Building Test Centre (Członek Fire Test Study Group (FTSG) i akredytowanym przez UKAS nr 0296).

Nośności w warunkach ogniowych są osiągnięte pod warunkiem zastosowania dłuższych niż standardowe gwoździ profilowanych lub wkrętów. Warunkiem uzyskania nośności jest zastosowanie gwoździ CNA 4,0 x 75 lub wkrętów CSA 5,0 x 80. Ma to niezwykle istotne znaczenie, ponieważ gwarantuje utrzymywanie odpowiedniego zagłębienia łącznika w drewnie w miarę zwęglania się przekroju. Aby

zakładać odporność ogniową R30, połączenie musi dodatkowo spełniać następujące warunki:

- Wysokość belki głównej \geq wysokość belki drugorzędnej \geq wysokość wieszaka belki + 10 mm.
- Przekrój belki drugorzędnej nie może wystawać poza krawędzie elementu głównego.
- Szerokość belki drugorzędnej \geq 100 mm.
- Szczelina między elementami drewnianymi \leq 3 mm.

Spełniając podane założenia, można zakładać nośności w warunkach pożarowych z tab. 2.

Należy spełnić warunek nośności:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,30,fi}$$

$$R_{d,30,fi} = F_{v,Rk,fi} / \gamma_{M,fi}$$

gdzie:

$E_{d,fi}$ – obliczeniowy efekt oddziaływań w sytuacji ogniowej, określony zgodnie z EN 1995-1-2 (Eurokod 5);

$R_{d,30,fi}$ – nośność obliczeniowa w sytuacji ogniowej;

$\gamma_{M,fi}$ – materiałowy współczynnik bezpieczeństwa dla sytuacji ogniowej.

Uprozczone obliczenia $E_{d,fi}$ zgodnie z Eurokodem 5.

Więcej informacji na temat wieszaków GSE w Europejskiej Ocenie Technicznej ETA 06-0270 i katalogach technicznych Simpson Strong-Tie.

Szczelność oraz izolacyjność drewnianych przegród ogniowych

Osobnym zagadnieniem jest kwestia szczelności (E) oraz izolacyjności (I) ogniowej. Temat ten w większości przypadków wymaga przeprowadzenia odpowiednich badań konkretnych przegród. Nie jest to zatem tak łatwe i tanie do ustalenia. W ostatnich latach sporo się dzieje również w tej dziedzinie. Nie tylko na świecie, ale i w Polsce. Przeprowadzono wiele badań maszynowych elementów

Tab. 2 | Nośność charakterystyczna $F_{v,Rk,fi}$ [kN] wieszaka GSE w warunkach ogniowych R30

		Szerokość podpieranej belki [mm]					
		100	120	140	160	180	200
Wymiar arkusza wieszaka belki [mm]	380	1.00	1.00	-	-	-	-
	440	2.52	2.52	2.52	2.52	-	-
	500	3.55	3.55	2.52	2.52	2.52	2.52
	540	4.72	4.72	3.55	3.55	3.55	3.55
	600	7.30	7.30	5.98	5.98	5.98	5.98
	660	8.65	8.65	7.30	7.30	7.30	7.30
	720	11.40	11.40	10.03	10.03	10.03	10.03
	780	12.76	12.76	11.40	11.40	11.40	11.40
	840	15.44	15.44	14.11	14.11	14.11	14.11
	900	18.04	18.04	15.44	15.44	15.44	15.44
960	19.32	19.32	16.75	16.75	16.75	16.75	
1020	20.57	20.57	19.32	19.32	19.32	19.32	



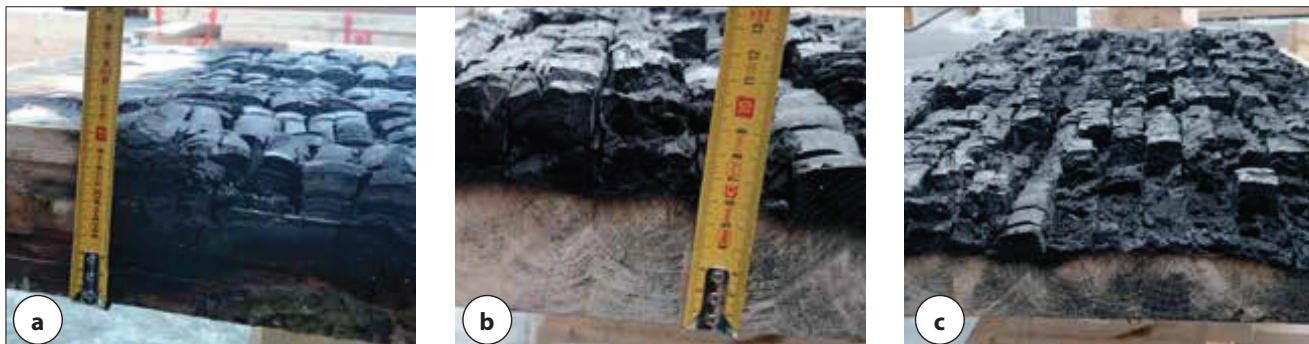
Fot. 8 | Test ogniowy ściany HBE o grubości 10 cm, na miniaturce widoczna wewnętrzna strona ściany poddana działaniu ognia. Test zakończony pomyślnie, wynik: EI60

sywne przekroje drewniane doskonale izolują temperaturę pożaru od sąsiednich pomieszczeń. Przy ścianach z pełnego drewna grubych na 36 cm, poddanych z jednej strony działaniu temperatury 1000° C przez 90 minut, po drugiej stronie ściany niepoddanej działaniu ognia zanotowano wzrost temperatury powierzchni ściany jedynie o ~2° C. A zatem druga strona pozostała praktycznie niezmiennie zimna. To wszystko dzięki niesamowitym parametrom izolacyjnym drewna. Dla porównania w przypadku ścian z betonu już po upływie 15–30 minut po stronie ściany niepoddawanej działaniu płomieni miejscowo rejestrowane są temperatury w wysokości od 100 do 600°C (tam gdzie po przeciwnej stronie, po odpadnięciu kawałków ściany, odsłonięte zostało stalowe zbrojenie).

W Polsce również prowadzone są tego typu badania. W ostatnim czasie testom poddano stropy oraz ściany HBE (Hüttemann Brettschichtholz Elemente). Ich materiałem było surowe drewno klejone warstwowo, bez żadnej obudowy, malowania i tym podobnych zabiegów. W rezultacie badań uzyskano certyfikację na stropy REI60 (zbadana została zarówno

z drewna (w tym klejonego warstwowo), co pozwoliło udowodnić, że drewno dzięki swoim parametrom doskonale izoluje wysoką temperaturę pożaru od pozostałych pomieszczeń i bez problemu można tworzyć z niego przegrody ogniowe, jak stropy i ściany o odporności REI30 oraz REI60. Drewno pali się bardzo dobrze, gdy jest cienkie i ma stały dopływ po-

wietrza. Do rozpalenia ognia w piecu najlepiej użyć cienkich kawałków. Jeżeli natomiast włożymy od razu wielki bal, zwęgli się on z wierzchu, a ogień zgaśnie po krótkim czasie. Te właśnie właściwości, podobnie jak w opisanym wcześniej przykładzie, pozwalają projektować bezpieczne ogniowo przegrody, jak stropy i ściany. W wykonanych w Austrii badaniach stwierdzono, że ma-



Fot. 9 | Element stropowy po teście ogniowym. Grubość wyjściowa 10 cm, po 60 minutach działania pożaru widoczny ubytek materiału ~ 40 mm, co niejako potwierdza normową prędkość spalania na poziomie 0,7 mm/min. Test zakończony pomyślnie, wynik: REI60; drewno dzięki swoim parametrom doskonale izoluje wysoką temperaturę pożaru od pozostałych pomieszczeń i bez problemu można tworzyć z niego przegrody ogniowe, jak stropy i ściany o odporności REI30 oraz REI60

Fot. 10

Gotowy strop HBE o odporności ogniowej REI60



nośność, szczelność, jak i izolacyjność ogniowa). W przypadku ścian w związku z brakiem możliwości ich obciążenia w laboratorium otrzymano przegrody ogniowe o parametrze EI60 (szczelność oraz izolacyjność ogniowa), co w połączeniu z odpowiednio dobraną, drewnianą konstrukcją nośną (R60) pozwala zaprojektować całą ścianę o odporności ogniowej REI60. Te informacje cały czas są dość zaskakujące dla grona inżynierów, a co dopiero dla osób z innych branż. Jednak takie są fakty i patrząc na osiągnięte wysokości budynków drewnianych oraz parametry odporności ogniowej drewna wygląda na to, że musimy na nowo oswoić się z materiałem, jakim jest drewno. Nie może ono kojarzyć nam się jedynie z zieloną konstrukcją na dachu domu jednorodzinnego, ale przede wszystkim z drewnem klejonym warstwowo (BSH, Glulam), elementami HBE (Hüttemann Brett-schichtholz Elemente), konstrukcjami

typu CLT (Cross Laminated Timber) i wieloma podobnymi, które cechują się zdecydowanie innymi parametrami niż zwykła kantówka tartaczna.

Bibliografia

1. PN-EN 1995-1-2:2008/NA:2010 Eurokod 5 Projektowanie konstrukcji drewnianych – Część 1-2: Postanowienia ogólne – Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
2. PN-EN 13501-1+A1:2010 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 1: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień.
3. PN-EN 13501-2:2016-07 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 2: Klasyfikacja na podstawie wyników badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnej.
4. PN-EN 1365-2:2014-12 Badania odporności ogniowej elementów nośnych – Część 2: Stropy i dachy.
5. P. Smardz, *Określanie odporności ogniowej konstrukcji drewnianych*, Ochrona Przeciwpożarowa, marzec 2014.
6. ETAGO15 – Wytyczne do Europejskich Aprobac Technicznych – Trójwymiarowe łączniki mechaniczne do konstrukcji drewnianych.
7. Europejska Ocena Techniczna ETA 06-0270 – Złącza ciesielskie Simpson Strong-Tie – wieszaki belek.
8. Europejska Ocena Techniczna ETA 07-0245 – Złącza ciesielskie Simpson Strong-Tie – wieszaki belek ukryte.
9. Katalog Techniczny 2015 – Simpson Strong-Tie – złącza ciesielskie.
10. Katalog techniczny 2016 – Glulam.pl – odporność ogniowa elementów drewnianych.
11. Katalog Techniczny 2016 – HBE Fire – przegrody ogniowe.
12. E. Thoma, *Na długi czas*, Vitages Verlag, Warszawa 2014. ■