XXIV awarie budowlane
XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009

Mgr inż. BOGDAN WRÓBLEWSKI, *b.wroblewski@itb.pl*
Zakład Badań Ogniowych
Instytut Techniki Budowlanej

ANALIZA ZACHOWANIA SIĘ DACHÓW O KONSTRUKCJI DREWNIANEJ W POŻARZE

ANALYSIS OF BEHAVIOUR OF TIMBER ROOFS IN FIRE

Streszczenie W referacie przedstawiono analizę zachowania się dachów o konstrukcji drewnianej w pożarze scharakteryzowanym przez standardową krzywą temperatura-czas, która określa warunki badań odporności ogniowej; metodę badania odporności ogniowej; przykładowe badania dachów i zasady klasyfikacji.

Abstract In the paper analysis of behaviour of timber roofs in fire, rules concerning fire resistance tests of timber roofs, technical characteristics of tested roofs, tests results, rules concerning fire resistance classification, rules of estimation of fire resistance of timber roofs and conclusions are given.

1. Wprowadzenie

Dachy budynków mieszkalnych jednorodzinnych i wielorodzinnych, obiektów budownictwa ogólnego projektowane i wykonywane są o konstrukcji drewnianej – w Polsce z drewna sosnowego i świerkowego. Stosowane drewno na konstrukcje dachów jest zabezpieczone ogniochronnie (impregnatem, farbą lub lakierem) i przed atakiem biologicznym. Niektóre impregnaty umożliwiają uzyskanie przez wyroby z drewna surowego klasy reakcji na ogień od D-s2,d0 – wg PN-EN 13501-2:2004 [1] (łatwozapalne – wg Instrukcji ITB nr 401/2004 [2]) do B-s2,d0 (niezapalne wg [2]). Zabezpieczenie drewna impregnatem ogniochronnym daje ten skutek, że w przypadku pożaru następuje jego późniejsze zapalenie i późniejsze pojawienie się płomienia, lecz nie wpływa w sposób istotny na odporność ogniową konstrukcji.

W niektórych przypadkach, głównie aby ograniczyć rozprzestrzenianie się ognia na budynki sąsiednie, w przepisach techniczno-budowlanych sformułowano wymagania dotyczące odporności ogniowej. Dachy spełniają funkcję nośną oraz oddzielającą i są klasyfikowane z uwagi na kryteria nośności i szczelności ogniowej (RE) lub nośności, szczelności i izolacyjności ogniowej (REI).

Wymagania dotyczące odporności ogniowej dachów wg [12] nie przekraczają 30 minut i wymagane klasy odporności ogniowej wynoszą w przypadku budynków klasy odporności pożarowej A i B – RE 30, a w przypadku budynków klasy odporności pożarowej C – RE 15 Jeżeli poddasze użytkowe jest przeznaczone na cele mieszkalne lub biurowe to palna konstrukcja poddasza, czyli w zasadzie konstrukcja drewniana, powinna być wydzielona przegrodami klasy EI 30 lub EI 60, czyli dach powinien spełniać wymagania klasy REI 30 lub REI 60.

Badań odporności ogniowej dachów jest stosunkowo mało gdyż z uwagi na pochylenie połaci dachowych są one trudne do zanalizowania [3].

2. Badania odporności ogniowej dachów

Badania odporności ogniowej dachów przeprowadza się zgodnie z normą PN-EN 1365-2:2002. Badania odporności ogniowej elementów obciążonych. Część 2: Stropy i dachy [4]. W badaniach odporności ogniowej oddziaływaniom termicznym powinien być poddany element o wymiarach:
– długość (L_{exp}) — 4 m, szerokość (W_{exp}) — 3 m.
Dachy bada się przy nagrzewaniu od spodu zgodnie z krzywą normową temperatura-czas:

$$T= 345\log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

gdzie:

T – jest średnią temperaturą w piecu, w stopniach Celsjusza
t – jest czasem, w minutach

Ciśnienie w piecu badawczym w trakcie badania rejestrowane jest na poziomie 100 mm od spodu dachu w połowie wysokości dachu i musi wynosić 20Pa z tolerancją podaną w normie [5].

Kąt nachylenia dachu – elementu próbnego ustala się przed badaniem i ma to związek z klasyfikacją ogniową.

W elemencie próbnym można stosować drewno nieimpregnowane – impregnacja drewna środkami ochrony ppoż. ma zasięg kilku mm i nie ma większego wpływu na prędkość zwęglania drewna. Impregnowane drewno później zapala się w pożarze o kilka minut, natomiast w dalszej fazie pożaru jego zwęglanie jest większe.

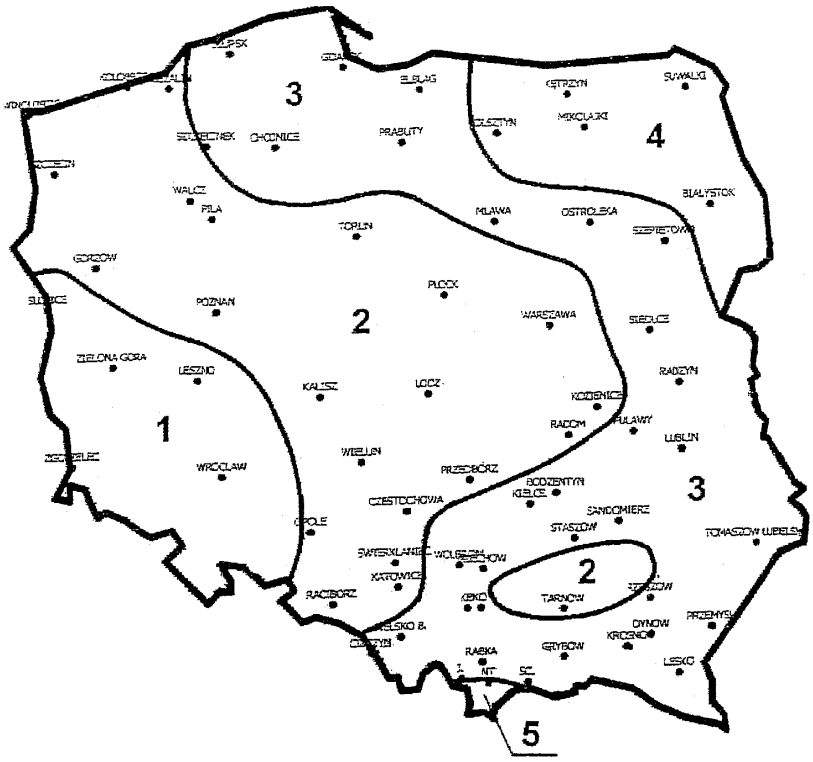
Element próbny powinien być poddany obciążeniom wyznaczonym zgodnie z PN-EN 1363-1:2002 [5]. Wartości i rozkład obciążenia powinny być takie, aby siły wewnętrzne powstające w elemencie próbnym były reprezentatywne dla sytuacji rzeczywistej.

Na podstawie obserwacji meteorologicznych i prawdopodobieństwa jednoczesnego występowania pożaru i obciążeń śniegiem oraz wiatrem [7] przyjęto dla obciążenia śniegiem wartość współczynnika Ψ_1 = 0,2. według mapy obciążenia śniegiem (rys. 1 i tab. 1 zgodnie z normą PN-EN 1991-1-3:2005 [8]).

Tablica 1. Wartości charakterystyczne obciążenia śniegiem gruntów w Polsce

Strefa	S_k, kN/m^2
1	0,007A – 1,4; $S_k \geq 0,70$
2	0,9
3	0,006A – 0,6; $S_k \geq 1,2$
4	1,6
5	0,93exp(0,00134A); $S_k \geq 2,0$
Uwaga: A = wysokość nad poziomem morza, (m)	

Poza tym uwzględnia się charakterystyczne wartości obciążeń od ciężaru własnego dachu oraz elementów podwieszonych takich jak sufity, przewody wentylacyjne, instalacje elektryczne, instalacje tryskaczowe itp.



Rys. 1. Podział Polski na strefy obciążenia śniegiem gruntu według PN-EN 1991-1-3:2005

3. Charakterystyka konstrukcji badanych dachów

3.1 Dachy z sufitami podwieszonymi z płyt z wełny mineralnej sprasowanej

Konstrukcje dachów z obudową od spodu w postaci sufitu podwieszonego z płyt z wełny mineralnej sprasowanej mają najczęściej następujący układ warstw w przekroju poprzecznym od strony zewnętrznej: – połać dachowa – dachówka ceramiczna, betonowa lub blachodachówka, ułożone na łatach i kontrłatach, elementy nośne dachu – dźwigary kratowe z drewna iglastego wysokiej klasy np. C30, elementy drewniane dźwigarów, pas górny, dolny, krzyżulce, słupki, połączone przy pomocy stalowych płytek kolczastych, folia wiatroizolacyjna, izolacja termiczna ułożona pomiędzy pasami dolnymi dźwigarów – najczęściej wełna szklana grubości min. 15 cm, folia paroizolacyjna – PE, sufit podwieszony z płyt z wełny mineralnej sprasowanej, na ruszcie z systemowych stalowych profili zimnogiętych, na wieszakach stalowych zamocowanych do dolnych pasów dźwigarów.

3.2 Dachy z podsufitką z płyt gipsowo-kartonowych lub gipsowo-włóknowych

Konstrukcje dachów z obudową od spodu z płyt gipsowo-kartonowych lub gipsowo-włóknowych mają najczęściej następujący układ warstw w przekroju poprzecznym od strony zewnętrznej (od góry): – połać dachowa – dachówka ceramiczna, betonowa lub blachodachówka, folia wiatroizolacyjna, łaty, kontrłaty, konstrukcja nośna – krokwie drewniane o min. klasie drewna C18, izolacja termiczna i akustyczna w postaci wełny mineralnej skalnej lub wełny mineralnej szklanej o min. grubości 15 cm, ułożona na drutach lub między krokwiami lub na profilach stalowych, stalowe profile zimnogięte, zamocowane do krokwi przy pomocy systemowych łączników, folia PE, okładziny z płyt gipsowo-kartonowych typu F lub gipsowo-włóknowych.

4. Analiza zachowania się dachu o konstrukcji z drewnianych dźwigarów kratowych z sufitem podwieszonym z płyt ze sprasowanej wełny mineralnej

Do analizy przyjęto przykład badania dachu o konstrukcji nośnej z dźwigarów drewnianych kratowych z lekkim sufitem podwieszonym. Na fot. 1 i 2 pokazano widok elementu próbnego przed badaniem. Układ warstw dachu był podobny jak w p. 3.1.
Na podstawie pomiarów temperatury w elemencie badanym stwierdza się, że spód pasa dolnego dźwigara kratowego płonął przez ok. 19 minut do zawalenia się dachu. Do boków dolnych pasów dźwigarów przylegała wełna szklana. Wartości wykorzystania naprężeń od obciążeń charakterystycznych w pasie dolnym wynosiło 67%, w stalowych płytkach kolczastych 60%. W pasie górnym kratownicy i w krzyżulcach były niższe wartości wykorzystania naprężeń i w trakcie badania były niższe wartości temperatury u góry dachu niż na dole. Płytki kolczaste miały kolce o długości ok. 10 mm. Na podstawie analizy zwęglenia przekroju pasów dolnych dźwigarów kratowych stwierdza się, że bezpośrednią przyczyną utraty nośności ogniowej dachu i jego zawaleniem było zwęglenie drewna pod płytkami kolczastymi – utrata nośności złącza i rozerwanie pasów dolnych w miejscach ich łączenia poprzez stalowe płytki kolczaste. Dach podczas badania uległ raptownemu gwałtownemu zawaleniu się do pieca.

Fot. 1. Widok konstrukcji nośnej elementu badanego

Fot. 2. Widok elementu badanego od strony nie nagrzewanej, obciążonego przed badaniem

5. Analiza zachowania się dachu o konstrukcji z drewnianych krokwi i podsufitką z okładzinami z płyt gipsowo-kartonowych typu F

Do analizy przyjęto przykład badania dachu o konstrukcji nośnej z krokwi sosnowych i podsufitką z okładzinami z płyt gipsowo-kartonowych typu F. Układ warstw dachu był podobny jak w p. 3.2. Na fot. 3 i 4 pokazano widok elementu próbnego przed badaniem, a na fot. 5 widok dachu badanego od strony okładzin.

Na podstawie analizy rozkładu temperatur w przekroju dachu, pomiaru ugięć krokwi i obserwacji z badania stwierdza się, że schemat zniszczenia dachu jw. w pożarze był następujący:

- po spadnięciu podsufitki z płyt gipsowo-kartonowych zapalenie folii PE i żarzenie wełny szklanej,
- zapalenie się folii wiatroizolacji i utrata szczelności ogniowej (dach był badany bez połaci dachowej, obciążenie od połaci i 20% od obciążenia śniegu uwzględnione zostało przy obciążeniu krokwi obciążnikami żeliwnymi).

Fot. 3. Widok elementu próbnego przed badaniem od strony nie nagrzewanej

Fot. 4. Widok elementu próbnego przed badaniem od strony nagrzewanej

Fot. 5. Widok elementu próbnego po badaniu od strony nagrzewanej

6. Klasyfikacja w zakresie odporności ogniowej dachów o konstrukcji drewnianej

Klasyfikację w zakresie odporności ogniowej dachów przeprowadza się na podstawie wyników z badań odporności ogniowej w oparciu o kryteria normy PN-EN 13501-2:2007 [9] oraz w oparciu o kryteria normy PN-B-02851-1:1997 [10]. W klasyfikacji ogniowej należy również podać warunki dla drewnianych elementów nośnych dachu – czyli minimalne wymiary elementów nośnych i maksymalny stopień wykorzystania nośności.

W badaniach odporności ogniowej dachów o konstrukcji drewnianej przeprowadzonych w Instytucie Techniki Budowlanej uzyskano klasy odporności ogniowej od REI 15, REI 20, REI 30, REI 45 i REI 60.

7. Zasady oceny odporności ogniowej dachów drewnianych

7.1 Nośność ogniowa R

Nośność ogniową R elementów drewnianych dachów takich jak krokwie, dźwigary z drewna klejonego można obliczać wg Eurokodu 5 [6].

W Eurokodzie 5 [6] podane są procedury projektowania jak również wzory i przykłady obliczania nośności i zasięgu zwęglenia konstrukcji drewnianych w warunkach pożaru. Przy ustalaniu procedury projektowania należy ustalić między innymi:

- oddziaływanie termiczne wywołane pożarem,
- czy analiza dotyczy elementu czy części konstrukcji czy całej konstrukcji,
- oddziaływania mechaniczne i warunki brzegowe,
- proste lub zaawansowane modele obliczeniowe.

Dokładna metoda obliczeń nośności podana jest w Eurokodzie 5 [6] uwzględniająca również m.in. zmiany wytrzymałościowe drewna w podwyższonej temperaturze, wpływ łączników itd.

W przypadku elementów drewnianych osłoniętych okładzinami ogniochronnymi w Eurokodzie 5 [6] podano zmiany głębokości zwęglenia w czasie na wykresach i w postaci wzorów dla różnych materiałów osłaniających (np. wełna mineralna skalna, płyty gipsowo-kartonowe itd.).

Belki z drewna litego i dźwigary z drewna klejonego o najmniejszym wymiarze przekroju co najmniej 14 cm klasyfikuje się jako nie rozprzestrzeniające ognia NRO zgodnie z instrukcją ITB nr 401/2004 [2].

7.2 Szczelność ogniowa E

Szczelność ogniową E przekryć drewnianych dachów jest możliwa do oszacowania w oparciu o wyniki badań podobnych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, natomiast nie ma metody obliczeniowej do określenia tego parametru.
Następujące czynniki mają podstawowy wpływ na szczelność ogniową:
– rodzaj płyt ogniochronnych osłaniających od spodu konstrukcję dachu (płyty g-k typu F czy
– płyty gipsowo-włóknowe, czy sufit z płyt z wełny mineralnej sprasowanej), izolacja (wełna mineralna skalna czy szklana) zabezpieczona przed wypadaniem, folie (paroszczelna i wiatroizolacyjna), materiał pokrycia.

Np. płyty wełny mineralnej skalnej ułożone szczelnie między krokwiami na drucie stalowym w przypadku pożaru nie spadają od razu po zniszczeniu płyt ogniochronnych i zwiększają odporność ogniową dachu o kilka minut.

8. Ocena odporności ogniowej wybranych dachów drewnianych

8.1 Dach drewniany pokryty dachówką ceramiczną

Pokrycia dachów wykonane z dachówek ceramicznych należą do pokryć ciężkich – 700÷800 N/m^2 i materiałochłonnych, gdyż na łaty pod dachówkę trzeba zużyć około 30% drewna potrzebnego na całą więźbę dachową. Analizuje się dach o układzie warstw od góry: dachówki ceramiczne na łatach i kontrłatach, folia wiatroizolacyjna, izolacja termiczna z wełny mineralnej skalnej, folia paroszczelna, konstrukcja nośna zaprojektowana i wykonana zgodnie z PN, Instrukcją ITB 403/2008 [11] i jak w p. 7.1, obudowa z płyt gipsowo-kartonowych F grubości 15 mm na profilach stalowych zimnogiętych. Na podstawie wyników badań podobnych rozwiązań ocenia się klasę odporności ogniowej takiego dachu – RE 15 wg kryteriów normy PN-EN 13501-2:2007 [9]. Dachy z pokryciem dachówką ceramiczną przy oddziaływaniu ognia zewnętrznego posiadają klasę B_{ROOF} (t1) wg PN-EN 13501-5:2006 [13].

8.2 Dach drewniany kryty eternitem

Z uwagi na masowe występowanie w Polsce dachów drewnianych krytych eternitem i nakaz UE do usunięcia eternitu i jego utylizowania z powodu, że są w nim włókna azbestu szkodliwe dla człowieka postanowiono ocenić odporność ogniową przykładowego dachu z eternitem. W budynkach jednorodzinnych z poddaszem nieużytkowym często było stosowane rozwiązanie, że na łatach drewnianych przybijano eternit gwoździami, łaty były przybite do więźby dachowej – do krokwi, cały dach nie posiadał izolacji termicznej. Czasami dach posiadał dodatkowo deskowanie przybite do krokwi, na deskowaniu papę, na tym łaty i eternit.

W przypadku pożaru na poddaszu nagrzany eternit eksplozyjnie odpryskuje i rozpada się. W opisywanych przypadkach ocenia się, że może to nastąpić po 5–10 minutach.

9. Podsumowanie

- O odporności ogniowej dachów o konstrukcji nośnej z drewnianych dźwigarów kratowych mogą decydować złącza ze stalowych płytek kolczastych łączących pasy dolne kratownic, na skutek zwęglenia drewna pod płytkami kolczastymi następuje obluzowanie się kolców w zwęglonym drewnie i zniszczenie złącza pasów dolnych kratownicy i raptowne zawalenie się dachu w pożarze.

- O odporności ogniowej dachów o konstrukcji nośnej z masywnych krokwi drewnianych z podsufitką z płyt gipsowo-kartonowych lub gipsowo-włóknowych decyduje na ogół zachowanie się poziomej przepony oddzielającej konstrukcję drewniana od ognia a nie nośność konstrukcji.
- Poziome przepony w przestrzeni sufitu podwieszonego lub podsufitki są bardzo wrażliwe na jakość wykonania. Niedokładności, wprowadzenie naprężeń na skutek „dociągania" płyt i dodatkowe nie uwzględnione w badaniach obciążenie powodują znacznie szybsze zniszczenie tych elementów i tym samym znaczne obniżenie odporności ogniowej dachu.
- Luźno ułożona na płytach sufitu wełna mineralne nie stanowi żadnego zabezpieczenia, gdyż spada natychmiast po zniszczeniu płyt podsufitki.
- Wprowadzenie siatki lub „wężyka" z drutu stalowego zapobiega wypadanie płyt z wełny mineralnej i pozwala na znaczne zwiększenie odporności ogniowej dachu.

Literatura

1. PN-EN 13501-1:2004 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych elementów budynków Część 1: Klasyfikacja na podstawie badań reakcji na ogień.
2. Instrukcja ITB nr 401/2004. Przyporządkowanie określeniom występującym w przepisach techniczno budowlanych klas reakcji na ogień wg PN-EN, Warszawa 2004.
3. Kosiorek. M., Wróblewski B. Odporność ogniowa dachów o konstrukcji drewnianej. Konferencja Naukowo-Techniczna, Krynica 2007
4. PN-EN 1365-2:2002 Badania odporności ogniowej elementów nośnych Część 2: Stropy i dachy.
5. PN-EN 1363-1:2001 Badania odporności ogniowej Część 1: Wymagania ogólne.
6. PN-EN 1995-1-2:2008 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych – Część 1-2: Postanowienia ogólne – Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
7. Kosiorek M., Wróblewski B. Zasady przyjmowania obciążeń w badaniach odporności ogniowej przekryć dachowych. ITB 2005.
8. PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1 – Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-3 Oddziaływanie ogólne – Obciążenie śniegiem.
9. PN-EN 13501-2:2007 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków Część 2: Klasyfikacja na podstawie badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnej.
10. PN-B-02851-1:1997 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Badania odporności ogniowej elementów budynków. Wymagania ogólne i klasyfikacja.
11. Instrukcja ITB nr 403/2008 Warunki techniczne wykonywania i odbioru robót budowlanych. Zeszyt 4: Konstrukcje drewniane. ITB, Warszawa 2008.
12. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki ich usytuowanie. Dz. U. Nr 75, poz. 690; zm.: Dz. U. z 2003 r. Nr 33, poz. 270; z 2004 r. Nr 109, poz. 1156.
13. PN-EN 13501-5:2006 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 5: Klasyfikacja na podstawie badań oddziaływania ognia zewnętrznego na dachy.