



MARIUSZ MAŚLAK, *mmaslak@pk.edu.pl*
Politechnika Krakowska
ANNA TKACZYK, *annatkaczyk@ankra.pl*
Biuro Budowlane Ankra Sp. z o.o.

OCENA STANU BEZPIECZEŃSTWA STALOWEJ KONSTRUKCJI NOŚNEJ HALI PO POŻARZE

ASSESSMENT OF A SAFETY LEVEL FOR STEEL HALL LOAD-BEARING STRUCTURE AFTER FIRE DAMAGE

Streszczenie Analizuje się przypadek częściowego zniszczenia stalowej hali magazynowej spowodowany wystąpieniem w niej pożaru. Uszkodzony został obiekt należący do większego zespołu hal. Pożar nie rozprzestrzenił się na cały budynek. Spowodował jednak lokalne zniszczenia polegające głównie na zwichrzeniu blachownicowego rygla ramy nośnej bezpośrednio objętej przez ogień oraz na globalnej utracie stateczności kilku sąsiadujących płatwi dachowych. Wskazany deformacjom towarzyszył znaczny przyrost ugięcia badanych elementów konstrukcji. Wynikał on z indukowania się odkształceń plastycznych w najbardziej wyteżonych strefach belek. Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie wybranych wniosków wynikających ze wstępnego oglądu hali po awarii w kontekście przyszłych prac naprawczych i ewentualnej rekonstrukcji obiektu.

Abstract The case of partially damaged steel hall is discussed by the authors in the presented paper. Building failure was caused by fire, developed locally and not expanded to the whole load-bearing structure. Considered hall is a part of a greater warehouse complex. The lateral – torsional buckling of some frame plate girders directly subjected to fire temperature as well as the simultaneous global instability phenomenon observed in adjoining purlins have been adopted as the basic failure modes determining the building safety level after fire. Furthermore, the member deflection growth, being a result of plastic strains induced in most effort beam zones, was very significant. Presentation of selected conclusions resulting from the preliminary building inspection, in context for the future repair works and its possible reconstruction, is the main purpose of this article.

1. Wprowadzenie

Rozgorzenie ognia i rozwój pożaru w obiekcie budowlanym zwykle oznacza jego całkowite lub co najmniej częściowe zniszczenie. Uszkodzenia ustroju nośnego bardzo często są na tyle duże, że musi on zostać zdemontowany w całości. W wielu przypadkach wystarcza jednak jedynie selektywna wymiana najbardziej zniszczonych elementów konstrukcji przy pozostawieniu do dalszego użytkowania części nadwyreżonych na tyle powierzchni, że mogą nadal zapewnić bezpieczne przenoszenie obciążeń. Postulat minimalizowania zakresu koniecznych prac rekonstrukcyjnych, wiążących się z zastosowaniem całkiem nowych belek lub słupów, przy rewitalizacji obiektu po pożarze ma z reguły podłoże ekonomiczne. Często jednak, w szczególności w odniesieniu do obiektów zabytkowych, chodzi przede wszystkim o dążenie do zachowania autentycznej substancji kulturowej bez oglądania się na koszty.

Decyzja skutkująca pozostawieniem w ustroju bez wymiany, a czasem nawet i bez jakichkolwiek znaczących działań wzmacniających, istotnych elementów lub podukładów konstrukcyjnych, po epizodzie ich gwałtownego nagrzewania i późniejszego – często raptownego (z uwagi na prowadzoną akcję gaśniczą) – stygnięcia, nie powinna być podejmowana arbitralnie. Należy ją oprzeć na wynikach kompleksowej oceny zastanego stanu technicznego. Pod słowem „kompleksowa” rozumie się analizę łączącą w sobie trzy podstawowe rodzaje oceny:

- ocenę wizualną,
- badania nieniszczące,
- badania niszczące.

Wyjątkiem jest tu jedynie sytuacja gdy uszkodzenia po pożarze są relatywnie małe i skoncentrowane na ograniczonej przestrzeni, tak że w rezultacie nie są w stanie doprowadzić do awarii całego obiektu. W takim przypadku może wystarczyć jedynie ocena wizualna.

Szczegółowe omówienie metodyki prowadzenia tego typu specjalistycznych prac eksperckich wykracza poza ramy niniejszego referatu. Trudno zresztą mówić o pewnym ustalonym algorytmie podejmowanych działań, gdyż ich zakres zależy od badanego obiektu i uwarunkowań technologiczno-środowiskowych. Niemniej jednak pewne ogólne zalecenia na tym polu podają autorzy pracy [1]. Poza tym typową technikę prowadzenia badań odniesionych do rozważanego również w tym artykule przypadku uszkodzonej przez pożar hali o stalowej konstrukcji nośnej można prześledzić analizując opracowania [2] i [3].

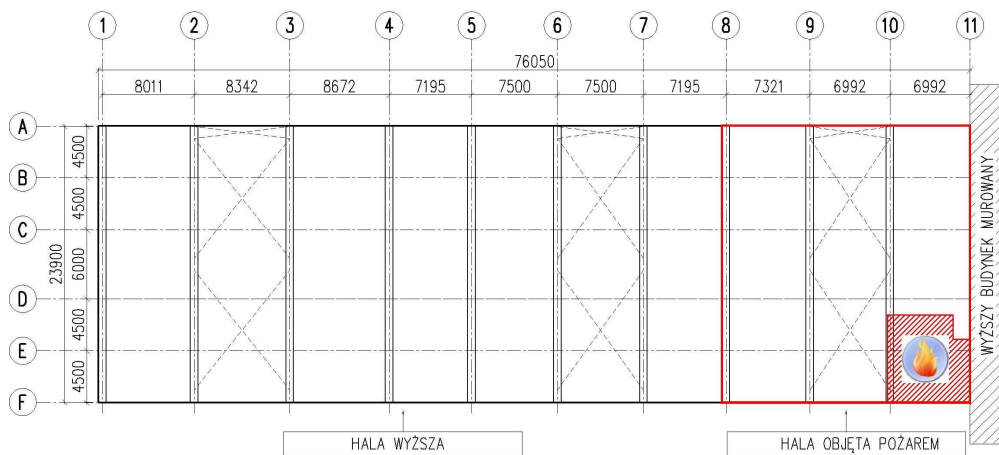


Rys. 1. Widok rozważanej hali po pożarze (hala w osiach systemowych 8–11 – patrz rys. 2)

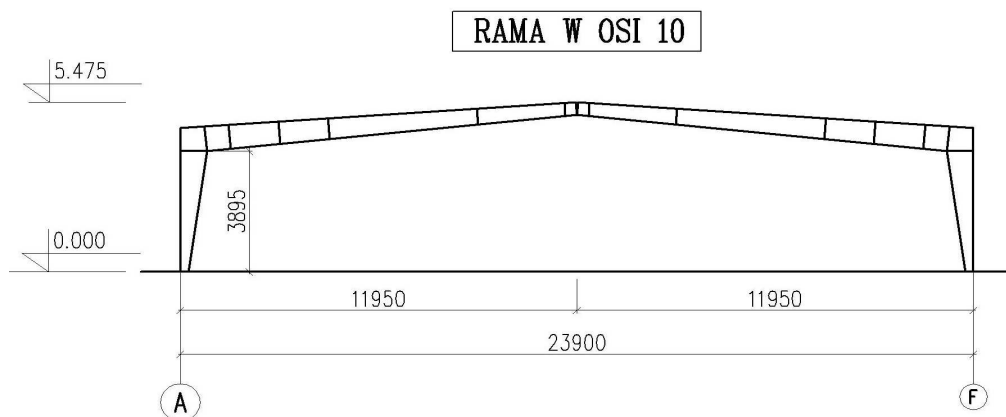
W niniejszej pracy autorzy opisują wyniki przeprowadzonej po pożarze wstępnej analizy stanu technicznego parterowej hali stalowej. Widok zewnętrzny rozważanej hali pokazano na rys. 1. Hala stanowi część większego kompleksu magazynowego. Pożar powstał w miejscu składowania włókna celulozowego (10 ton), w polu pomiędzy ramą nośną zlokalizowaną w osi 10 a ścianą murowaną sąsiedniej hali, co zaznaczono przez ukośne zakreskowanie na rys. 2. Ogień nie rozprzestrzenił się na cały budynek, objął jedynie niższą część obiektu (czyli strefę pomiędzy osiami systemowymi 8 i 11). Z analizy dostępnych danych wynika, że czas trwania pożaru nie przekroczył 2 godzin. Elementy stalowe ustroju nośnego hali nie były w żaden sposób izolowane przed bezpośrednim wpływem ognia. Zgodnie z wymogami prawa budowlanego nie zastosowano również innych środków pasywnej (ani tym bardziej aktywnej) ochrony przeciwpożarowej.

2. Opis konstrukcji hali.

Rozważanym przez autorów obiektem jest parterowa, nie podpiwniczona, hala stalowa o rozpiętości 23,9 m i rozstawach głównych układów nośnych (w osiach systemowych 8–11) wynoszących ~7,0 m, co daje łączną długość 21,3 m. Konstrukcję nośną dachu stanowią odpowiednio: oparta na płatwiach blacha trapezowa TR 34/0,5 mm i dźwigary główne ram poprzecznych – blachownicowe z płaskim środkiem, typu: 800-400/8-5/180/20-7. Słupy skrajne wykonano z blachownic typu: 800-250/6/250/16-20. Na płatwie zastosowano gięte na zimno kształtowniki Z203/1,7 mm, 1,91 mm, 2,21 mm, 2,67 mm w rozstawie 752 mm. Główna konstrukcja nośna obiektu (ramy i płatwie) wykonana została ze stali S355J2G3, natomiast pozostałe jego elementy ze stali S235. W połączeniach zastosowano śruby HV klasy 10.9 i 8.8. Układ konstrukcyjny przedmiotowej hali pokazano na rys. 2., a jej typowy przekrój poprzeczny na rys. 3.



Rys. 2. Układ konstrukcyjny hali ze wskazanym źródłem pożaru



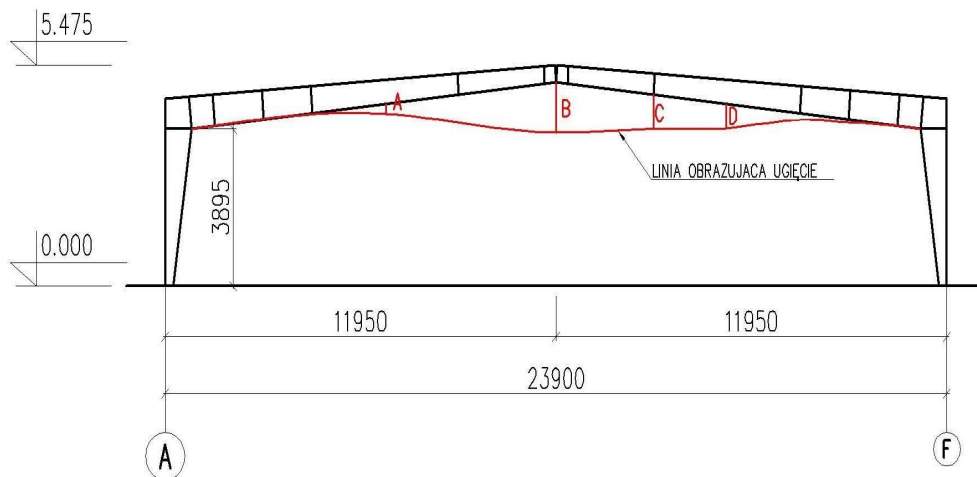
Rys. 3. Przekrój poprzeczny rozważanej hali

3. Opis uszkodzeń spowodowanych pożarem i propozycja naprawy

W wyniku pożaru na obszarze ograniczonym osiami 8–11 doszło do uszkodzeń konstrukcji nośnej całej hali oraz deformacji obudowy ścian bocznych budynku. Na rysunkach 4–9 pokazano zniszczenia najbardziej istotne z punktu widzenia stanu bezpieczeństwa obiektu. Polegały one głównie na znacznych ugięciach płatwi i zwirzeniu dźwigarów rami poprzecznej. Największe zniszczenia miały miejsce bezpośrednio nad źródłem ognia, w obszarze składowania włókien celulozowych (obszar zakreślony na rys. 2). Pozostała część konstrukcji nośnej hali uległa jedynie nieznacznemu osmoleniu.



Rys. 4. Ugięcia płatwi dachowych z zaznaczoną maksymalną strzałką



Rys. 5. Stan przemieszczeń rygla rami poprzecznej w osi systemowej 10 po pożarze

Wstępna ocena stanu zachowania hali po pożarze polegała na inwentaryzacji ugięć rygli i płatwi, a także na wyznaczeniu odchyień od pionu słupów ramy poprzecznej. Pomierzone wartości ugięć zestawiono w tablicy 1. Linię ugięcia rygla zobrazowano szczegółowo na rys. 5. Maksymalne ugięcie płatwi, które wyniosło 504 mm, pokazano na rys. 4. Na tym rysunku widoczne są również ogólne deformacje płatwi i blachy pokrycia po pożarze.

Tablica 1. Ugięcia po pożarze rygla ramy poprzecznej w osi systemowej 10

| PRZEKRÓJ | A | B | C | D |
|----------|------|-------|-------|-------|
| WARTOŚĆ | 5 mm | 25 mm | 17 mm | 12 mm |

Deformacje zwichrzonego pasa dolnego rygla ramy poprzecznej w osi 10 ilustrują rysunki 6 i 7.

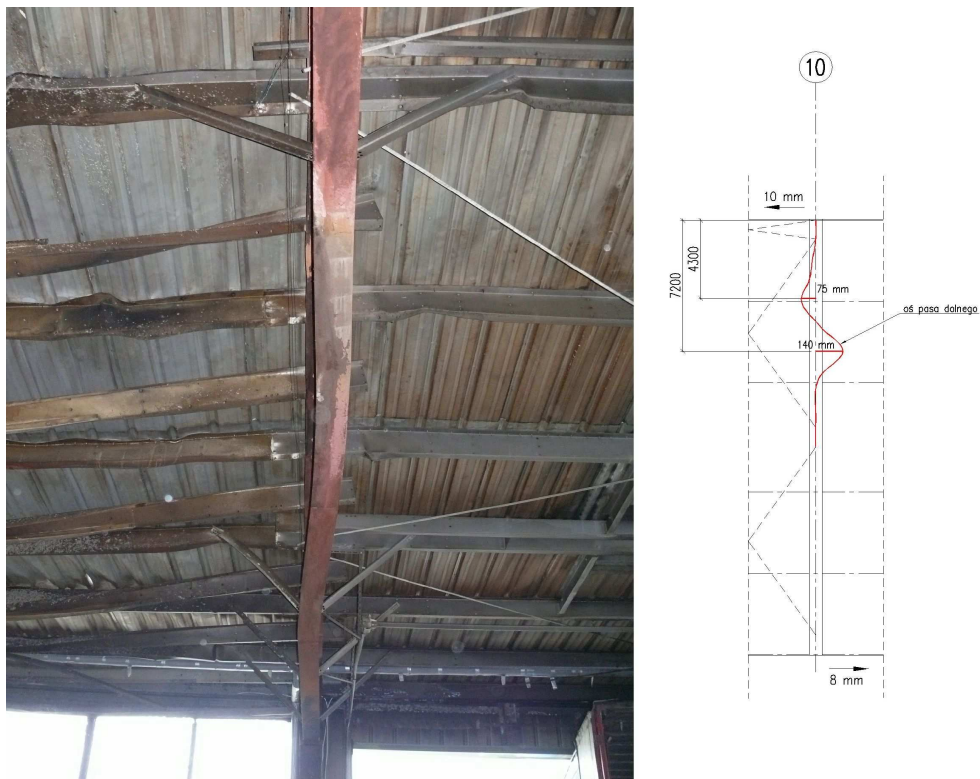


Rys. 6. Widok zdeformowanego pasa dolnego dźwigara

Słupy w osiach A i F uległy jedynie nieznacznym wychyleniom od pionu. Ich kierunki i wartości pokazano na rys. 7, w stosunku do osi systemowej 10 pokrywającej się z pierwotną (sprzed pożaru) osią rygla najbardziej zniszczonej ramy poprzecznej. Jak widać węzeł górny słupa leżącego na skrzyżowaniu osi A-10 zbliżył się do pierwotnej osi 9 o 10 mm, natomiast analogiczny węzeł górny należący do słupa F-10 w tym samym czasie oddalił od tej osi o 8 mm (czyli zarazem zbliżył się o taką odległość do osi 11).

Połączenia dźwigarów ramy poprzecznej nie uległy w pożarze znaczącym zniszczeniom. Na rys. 8 pokazano połączenie doczołowe słupa z rygłem, natomiast na rys. 9 połączenie rygli w kalenicy. Jak widać zostały one w zasadzie jedynie osmolone. W węzłach tego typu na skutek długotrwałego działania wysokiej temperatury często dochodzi do utraty wstępnego sprężenia, a nawet pęknięcia blach czołowych. W badanym przypadku nie zaobserwowano tego typu uszkodzeń.

Przeprowadzona analiza wykazała, że uszkodzenia ustroju nośnego ramy miały ograniczony charakter. Dotyczyły one przede wszystkim ramy poprzecznej zlokalizowanej w osi 10, a także sąsiadujących z nią płatwi dachowych. Z tego względu zdecydowano się na zawężenie zakresu koniecznych prac naprawczych. Nakazano wymianę rygla ramy poprzecznej w osi 10 oraz odtworzenie pokrycia dachowego poprzez zastosowanie takich samych jak przed pożarem płatwi dachowych oraz blachy profilowanej TR35 o grubości 0,7 mm. Pozostałą część konstrukcji nośnej oczyszczono przez piaskowanie i pomalowano.



Rys. 7. Deformacja zwichrzonego pasa dolnego rygla ramy poprzecznej w osi 10 (strzałkami zaznaczono miary wychYLENIA od pionu górnych węzłów słupów A-10 i F-10)



Rys. 8. Widok osmolonego połączenia dźwigara ze słupem



Rys. 9. Widok osmolonego połączenia rygli ramy poprzecznej w kalenicy

4. Uwagi końcowe i wnioski

W prezentowanym przez autorów przypadku do ustalenia sposobu naprawy hali po pożarze wystarczył w zasadzie zewnętrzny, wizualny, ogląd uszkodzeń obiektu i w miarę dokładna inwentaryzacja deformacji elementów nośnych. Jednoznaczne wskazanie ramy podlegającej wymianie nie nastąpiło zasadniczych trudności. Podobnie oczywisty wydawał się zaproponowany zakres rekonstrukcji dachu. Pozostałe części konstrukcji pozostawiono do dalszego użytkowania. Decyzję w tym zakresie podjęto po konstatacji, że sztywność i nośność węzłów ramy poprzecznej nie uległy redukcji a stal w strefie bezpośredniego kontaktu z ogniem została jedynie osmolona. Przytoczona powyżej ocena stanu technicznego hali nie miała zatem w żadnym razie charakteru kompleksowego. Obserwacja powierzchni stali ogarniętej wcześniej przez pożar nie dawała bowiem powodów do podejrzeń, że w czasie jego trwania w materiale zaszły niekorzystne zmiany strukturalne. Nie dopatrzone się także mikropęknięć skutkujących w przyszłości obniżoną odpornością stali na zmieniające się pole naprężeń. Jednakże aby uwiarygodnić wnioski wyciągnięte z wizualnej analizy konstrukcji należałoby wykonać dodatkowe badania właściwości materiału po pożarze (niszczące i/lub nieniszczące). Ich celem powinno być sprawdzenie charakteru i nasilenia ewentualnych dostrzeżonych zmian, a w końcu potwierdzenie, że pomimo działania wysokiej temperatury, po wystygnięciu, stal zachowała swoją pierwotną wytrzymałość i ciągliwość. Do najbardziej pożądaných testów trzeba na tym polu zaliczyć co najmniej statyczną próbę rozciągania, badanie mikrotwardości i udarność, a także podstawowe badania metalograficzne. Warto również zbadać czy nie doszło do powierzchniowego odwęglenia stali, gdyż to w znaczący sposób obniżyłoby jej twardość. Niezbędna jest także szczegółowa ocena stopnia degeneracji spoin.

W praktyce na walory eksploatacyjne stali po wystygnięciu rzutuje także sam przebieg i charakterystyka pożaru, co nie zawsze jest dostrzegane. Duży wpływ na jej późniejsze zachowanie ma prędkość nagrzewania, a szczególnie prędkość stygnięcia (dlatego tak ważny jest sposób przeprowadzenia akcji gaśniczej). Im zmiany były bardziej nagłe tym materiał trudniej się do nich adaptował. Ważna jest nawet sama historia zmian temperatury stali wyrażona kolejnymi epizodami jej nagrzewania i stygnięcia. Poza tym, jeżeli temperatura była odpowiednio wysoka to lokalnie mogło dojść do przemiany alotropowej i/lub rekryształizacji materiału.

Szczegółowy opis metodyki badania struktury stali po pożarze nie jest celem niniejszej pracy. Autorzy pragną jednak zwrócić uwagę na potrzebę przeprowadzania tego typu badań w ocenie stanu bezpieczeństwa obiektów uszkodzonych lub zniszczonych przez ogień. Zagadnieniom tym poświęcono m.in. prace [4], [5] i [6], a także odpowiedni rozdział w monografii [7].

Literatura

1. Gosain N. K., Drexler F., Choudhuri D.: Evaluation and Repair of Fire-Damaged Buildings, Structure Magazine, No. 9, 2008.
2. Krentkowski J., Tribińo R.: Awaria i naprawa stalowej konstrukcji przekrycia hali po pożarze, Inżynieria i Budownictwo, Nr 11, 2009.
3. Słówek G., Szumigala M.: Awaria hali handlowej spowodowana pożarem, Materiały XXII Konferencji Naukowo – Technicznej „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 17-20 maj 2005.
4. Kosiorek M.: Ocena konstrukcji stalowych po pożarze, Materiały XV Ogólnopolskiej Konferencji „Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji”, Ustroń, 23-26 luty 2000.
5. Tide R. H. R.: Integrity of Structural Steel After Exposure to Fire, Engineering Journal, No. 1, 1998.
6. Setién J., Gonzáles J. J., Alvarez J. A., Polanco J. A.: Evolution of Mechanical Behaviour in a Structural Steel Subjected to High Temperatures, Engineering Failure Analysis, No. 9, 2002.
7. Maślak M.: Trwałość pożarowa stalowych konstrukcji prętowych, Monografia 370, Seria "Inżynieria Ładowa", Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2008.