

IDENTYFIKACJA PARAMETRÓW STALOWEJ KONSTRUKCJI PRZEKRYCIA PODDANEJ DZIAŁANIU TEMPERATURY POŻARU

Janusz KRENTOWSKI*, Romuald SZELAĞ, Roćisław TRIBIŁŁO

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W pracy przedstawiono problem eksploatacji wielofunkcyjnego obiektu sportowego wyposażonego w nowoczesne urządzenia wentylacyjne. Niewłaściwa eksploatacja systemu wentylacji była bezpośrednią przyczyną powstania zarzewia ognia, który skutkował pożarem wyposażenia wielofunkcyjnej sali sportowej, a w konsekwencji uszkodzeniem konstrukcji obiektu. Autorzy dokonali oceny skutków pożaru w aspekcie zagrożenia elementów konstrukcyjnych budynku. Pracę podsumowano określeniem koncepcji naprawy uszkodzonych elementów. Sformułowano zalecenia do użytkowników obiektów użyteczności publicznej w zakresie właściwego wykorzystania nowoczesnych elementów wyposażenia.

Słowa kluczowe: obciążenie wyjątkowe temperaturą, pożar, przekrycie stalowe, awaria, wzmocnienie.

1. Wstęp

W ciągu ostatnich kilku miesięcy, na terenie naszego kraju, doszło do kilku spektakularnych katastrof budowlanych spowodowanych przez pożary. Konsekwencją kilkugodzinnego działania wysokiej temperatury a następnie prowadzonej akcji gaśniczej, było niemal doszczętne zniszczenie budynku hotelu socjalnego

na Pomorzu, hali targowej Chińskiego Centrum Handlowego pod Warszawą, Dworu Soplicowo w Białowieży, czy dachów zabytkowych kamienic w centrum Białegostoku (rys. 1). Do dziś pamiętamy również o skutkach pożaru Hali Oliwii w Gdańsku, którego przyczyn przez kilkanaście lat nie udało się jednoznacznie ustalić czy o zniszczeniu dachu gdańskiego kościoła Św. Katarzyny.



Rys. 1. Efekty działania temperatury pożaru na konstrukcję zabytkowych kamienic

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: j.krentowski@pb.edu.pl

Niszczące działanie żywiołu skutkuje również ofiarami wśród ludzi, pomimo faktu, iż bezpieczeństwo użytkowników wynikające z prawidłowego zaprojektowania i wykonania elementów konstrukcji budynku jest podstawowym wymogiem stawianym obiektom budowlanym (Sauc i in., 2008). Cytowane przykłady dowodzą, iż nie mniej istotny jest problem spełnienia i egzekwowania od użytkowników obowiązujących wymagań w zakresie ochrony przeciwpożarowej (Rękas, 2009).

Eksplotacja wielofunkcyjnego obiektu, wyposażonego w specjalistyczne urządzenia wentylacyjne, nie odpowiadająca warunkom określonym przez producenta, stała się bezpośrednią przyczyną pożaru a następnie katastrofy budowlanej stalowej konstrukcji nowoczesnej hali sportowej.

2. Konstrukcja obiektu poddanego działaniu temperatury pożaru

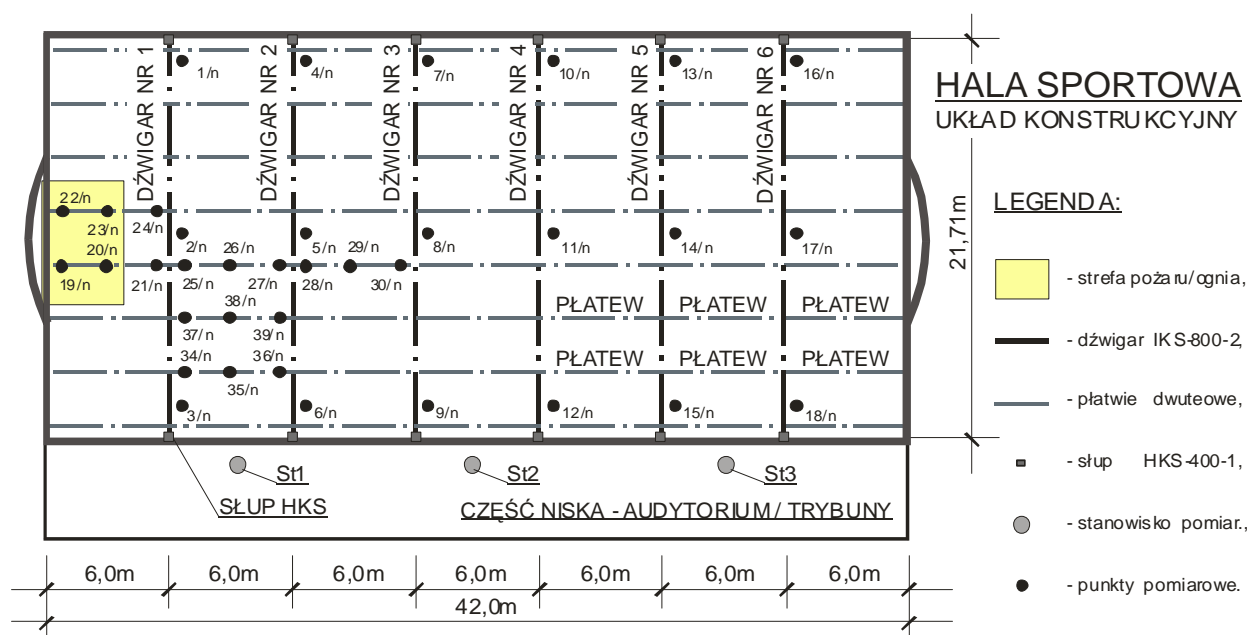
Stalową konstrukcję hali sportowej zrealizowano jako słupowo-ryglową. Obiekt ukształtowano w postaci siedmiu regularnych przęseł o rozpiętości 6,0 m, uzyskując długość 42m. W kierunku poprzecznym, w poziomie dachu, osiowy rozstaw słupów wynosił 21,71 m (rys. 2). Stalowe słupy i rygle zespolono wykorzystując połączenia śrubowe, z gwintem metrycznym M24, przy czym klasę śrub określono zgodnie z systemem normowania znakiem 8,8, kształtując sześć ram z układem stężeń w formie rygli, ścian murowanych i kratowego układu prętów w płaszczyźnie połączy dachu. Szczytowe ściany konstrukcyjne wymurowano z bloczków wapienno-piaskowych.

Rygle o całkowitej długości 21,96 m przygotowano z trzech elementów z profili spawanych IKS-800-2, łączonych na placu budowy spoinami czołowymi bez

nakładek, a słupy z profili dwuteowych HKS-400-1. Płatwie stalowe z walcowanych profili dwuteowych o wysokości 140 i 160 mm przenosiły bezpośrednie obciążenia elementami przekrycia, ciężarem śniegu i działaniem wiatru. Konstrukcję zaprojektowano ze stali St3S. Przekrycie sali głównej wykonano z warstwowych płyt dachowych z rdzeniem styropianowym. W dokumentacji projektowej założono, iż płatwie stalowe, usytuowane w rozstawie co 3,0 m, połączone łącznikami systemowymi z płytami warstwowymi, stanowią dostateczne zabezpieczenie rygli ramy przed utratą stateczności. Elementy stalowe zabezpieczono powłokami farb pęczniejących, uzyskując wymagany stopień odporności ogniowej według normy PN-EN 1363-1:2001 *Badania odporności ogniowej. Część 1. Wymagania ogólne*.

3. Charakterystyka procesów destrukcyjnych

Proces destrukcji konstrukcji stalowej przekrycia obiektu został spowodowany pożarem a następnie efektami prowadzonej akcji gaśniczej. Użytkownik sali sportowej przygotował obiekt do przeprowadzenia egzaminu maturalnego, układając wykładzinę dywanową na posadzce drewnianej, w celu poprawy komfortu i akustyki pomieszczenia. W godzinach wieczornych, w dniu poprzedzającym egzamin, został uruchomiony system wentylacji sali, w tym również wentylacji posadzki. Wykładzina dywanowa, pokrywająca całą powierzchnię podłogi, całkowicie zakryła światło otworów wentylacyjnych, co skutkowało uniemożliwieniem odprowadzenia ciepła z urządzeń wentylujących przestrzeń podposadzkową. Wzrost temperatury, przy braku właściwej reakcji ze strony systemu zabezpieczającego urządzenia, doprowadził do zwarcia w instalacji elektrycznej.



Rys. 2. Układ elementów konstrukcyjnych hali sportowej

Pożar został wzniesiony w strefie wnęki ściany szczytowej. Odległość źródła ognia od poziomu konstrukcji przekrycia hali wynosiła około +9,00 m, stąd nie wystąpiło bezpośrednie działanie płomieni na elementy nośne dachu. Obciążenie ogniowe stanowiły warstwy posadzki w postaci folii izolacyjnej, legarów drewnianych, podłogi z desek, warstwy płyt wiórowych i ułożonej wykładziny dywanowej oraz tymczasowe, meblowe wyposażenie sali. Czas trwania pożaru łącznie z akcją gaszenia przez jednostki straży pożarnej wynosił około 2 godzin. Dolna partia hali łącznie ze stolikami wykorzystywanymi do egzaminu nie zapaliła się, co ocenia się korzystnie ze względu na fakt, iż mogła stanowić źródło dodatkowego obciążenia ogniowego, które identyfikuje się na podstawie normy PN-70/B-02852 *Obliczanie obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru*.

Wpływem destrukcyjnym, oprócz posadzki, została poddana całkowita powierzchnia przekrycia łącznie z fragmentami górnych partii słupów stalowych, które zgodnie z projektem technicznym nie były omurowane elementami izolacyjnymi. Dachowe płyty warstwowe z blach stalowych z rdzeniem styropianowym stanowiły konstrukcję nośną i przejmowały obciążenia w strefach

między stalowymi płatwiami. Działanie temperatury pożaru spowodowało odspojenie blach i całkowitą utratę nośności i stateczności. Na rys. 3 pokazano fragment wewnętrznej powierzchni płyt dachowych z odspojoną dolną warstwą blach, przenoszących w stadium eksploatacji naprężenia rozciągające, a na rys. 4 widok odkształconej połaci dachowej. Pomimo długotrwałego działania wysokiej temperatury nie doszło do zapalenia warstwy izolacyjnej wykonanej ze styropianu, co skutkowało rozprzestrzenieniem pożaru w sytuacji opisanej przez Słowek i Szumigała (2005).

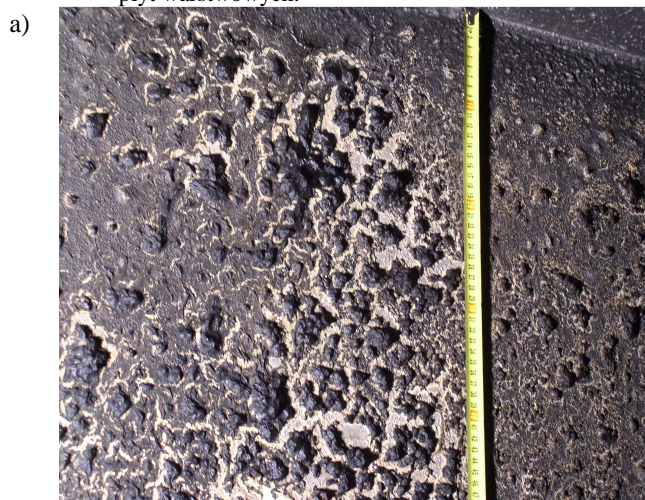
Działaniu pola wysokiej temperatury poddane zostały również rygle ram projektowane z dwuteowych profili spawanych. Stan powierzchni elementów stalowych ilustruje rys. 5a, gdzie udokumentowano, iż pęcznieniu uległy zabezpieczające powłoki malarskie typu „Ogniokor” wykonane według Instrukcji ITB nr 400, 2004. Stan słupów stalowych, zabezpieczonych w dolnych partiach ram przed działaniem temperatury poprzez omurowanie, pokazano na rys. 5b. Zewnętrzne warstwy ochronne uległy spękaniu i rozszczelnieniu nie stanowiąc skutecznego zabezpieczenia przed działaniem wysokich temperatur rzędu kilkuset stopni Celsjusza.



Rys. 3. Uszkodzenia wewnętrznej powierzchni płyt warstwowych.



Rys. 4. Widok odkształconej połaci dachowej



Rys. 5. Efekt działania temperatury pożaru: a) na powierzchni stalowe, b) na elementy murowane

4. Zakres badań i analiz

Ocena stanu obiektu a także elementów konstrukcyjnych, uszkodzonych w wyniku pożaru i prowadzonej akcji gaśniczej oraz ich przydatności na etapie rekonstrukcji i przekazania do bezpiecznej eksploatacji, jest zwykle procesem złożonym i wymagającym przeprowadzenia szeregu specjalistycznych badań. W procesie weryfikacji nośności wymagane było wykonanie obliczeń i analiz, zgodnie z normą PN-90/B-03200 *Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie*, lecz przy uwzględnieniu rzeczywistych parametrów wytrzymałościowych materiałów, w warunkach prawdopodobnego zmniejszenia nośności, spowodowanego skutkami pożaru.

Prace badawcze poprzedzone wizją lokalną, wywiadami w zakresie miejsca zarzewia pożaru, przybliżonego czasu jego trwania, oględzinami zniszczonych płyt warstwowych widocznych od wewnątrz, identyfikacji elementów pokrytych warstwą sadzy oraz czarnego wnętrza sali stwarzały dostateczne podstawy do oceny istniejącego stanu technicznego jako zły i zagrażający bezpieczeństwu osób przeprowadzających roboty naprawcze. Lecz taki skondensowany i uproszczony opis nie mógł stanowić podstawy do oceny przydatności elementów stalowych, z których ukształtowano konstrukcję nośną obiektu. Wykorzystując kryteria wiedzy i warunki oceny stanu bezpieczeństwa na podstawie nierówności wynikających z teorii stanów granicznych nośności i użyteczności elementów konstrukcyjnych obiektów budowlanych, opracowano koncepcje pomiarów i badań umożliwiających dokonanie takiej oceny. Ze szczególną dbałością zrealizowano prace badawcze, procesy analizy i interpretacje wyników uzasadniając taką staranność technologią wykorzystywania obiektu. Hala sportowa jest bowiem obiektem wykorzystywanym w sposób ciągły przez dużą liczbę młodzieży na zajęciach wychowania fizycznego a również do zgromadzeń większej liczby osób w sytuacjach na przykład egzaminów maturalnych czy uroczystości.

Niezbędna zatem okazała się analiza nośności

wszystkich elementów konstrukcji w sytuacji działania temperatury pożaru, ale również ocena stanu nośności łączników, które projektowane w formie śrub i spoin umożliwiły montaż stalowych ram nośnych z systemem usztywnień. Szczególnie wrażliwe na działanie obciążenia ogniowego okazały się elementy struktury przekrycia hali i śruby klasy 8,8, które zastosowano do sztywnego kształtowania węzłów ram w poziomie stropodachu (rys. 6).

Związane jest to z faktem zawartości w strukturze łączników dużej ilości pierwiastka węgla, który w warunkach pożaru zwiększa prawdopodobieństwo kruchego pęknięcia. Elementy wykonane ze stali znaku St3S charakteryzuje większa odporność na efekty kruchych pęknięć, natomiast w procesie wzrostu temperatur podlegają odkształceniom plastycznym, zmniejszeniu współczynnika sprężystości i obniżeniu wytrzymałości obliczeniowej. Połączenia śrubowe poddane dokładnej ocenie podobnie jak spoiny czołowe łączące trzy smukłe elementy blachownicowe każdego rygla. Pełna nośność czołowych połączeń spawanych jest możliwa do uzyskania w dobrze wyposażonych wytwórniach z zapewnieniem kontroli procesów spawania przez wykorzystywanie promieni rentgena. Tymczasem poddanie takich spoin temperaturze pożaru, najwyższej w górnych partiach obiektu, nie gwarantuje spójności mikrozarosowań struktury przetopu, co można zidentyfikować na podstawie normy PN-85/M-69775 *Spawalnictwo. Wadliwość złączy spawanych*. Oznaczenie klasy wadliwości na podstawie oględzin zewnętrznych.

System usztywnień połączeniowych, zróżnicowany w polach skrajnych, bardziej odporny na działanie obciążeń wyjątkowych niż wewnętrzna przestrzeń stropodachu, nieusztywniona systemem tężników, wymagał zrealizowania analizy lokalnych i globalnych problemów stateczności. W wykonanych odkrywkach, stwierdzono iż powierzchnie elementów stalowych zostały skutecznie zabezpieczone pod względem antykorozyjnym, bowiem po usunięciu wszystkich warstw powłok malarskich na powierzchni metalu nie stwierdzono procesów korozji, które mogłyby wpływać destrukcyjnie na stan odbudowywanego obiektu.



Rys. 6. Przykłady połączeń elementów konstrukcji stalowej hali sportowej

Przeprowadzono również badania górnych, nieomurowanych partii słupów i stref węzłów ram. Powierzchnie stalowych słupów i rygli poddano ocenie w aspekcie konieczności projektowania nowych zabezpieczeń ogniochronnych. Z uwagi na fakt, iż efektywność zrealizowanych zabezpieczeń okazała się poprawna, uzasadnione było przywrócenie tej formy zabezpieczenia elementów stalowych, poprzez ponowne użycie zestawu farb pęczniących. Stan powłok ochronnych zidentyfikowano na podstawie wytycznych określonych w normie PN-88/B-01808 *Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Zasady określania uszkodzeń powłok zabezpieczających konstrukcje stalowe i żelbetowe*.

Kolejnym istotnym aspektem procesu oceny stanu degradacji stalowej konstrukcji hali sportowej była weryfikacja rzeczywistego stadium odkształceń podstawowych elementów konstrukcji przekrycia, a więc dźwigarów blachownicowych oraz płatwi. Sprawdzenie stanu granicznego użyteczności przeprowadzono doświadczalną metodą poprzez oszacowanie rzeczywistego poziomu ugięć.

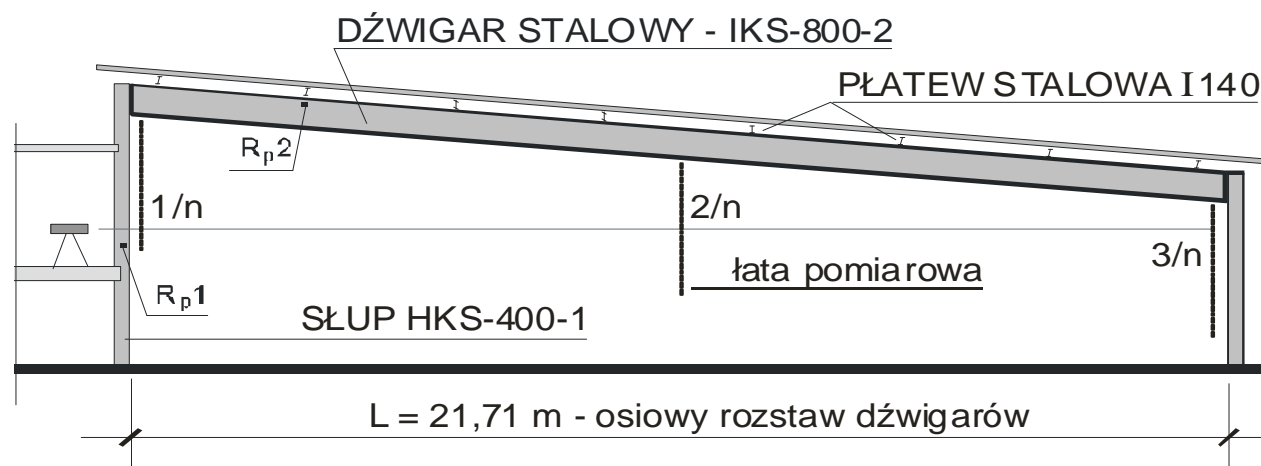
5. Identyfikacja stanu przemieszczeń dachowych elementów konstrukcyjnych

Na podstawie zrealizowanych pomiarów niwelacyjnych określono przemieszczenia rozciąganych pasów dolnych dźwigarów blachownicowych IKS-800-2 oraz płatwi

wykonanych z dwuteowych profili walcowanych o wysokości 140 i 160 mm. Precyzyjne określenie wartości odkształceń dźwigarów ukształtowanych z pochyleniem 10%, wymagało dokonania kilkakrotnych odczytów geodezyjnych z czterech stanowisk niwelacyjnych. Pomiary zrealizowano dla wszystkich dźwigarów wbudowanych w konstrukcję dachu nad salą sportową oraz kilkunastu płatwi zlokalizowanych bezpośrednio w strefie działania wysokiej temperatury. W trakcie przeprowadzania badań konstrukcja dachu nie była obciążona warstwą śniegu. W celu określenia całkowitej wartości odkształceń badanych elementów, obciążonych zgodnie z założeniami projektowymi i normowymi, przyjęto współczynnik uwzględniający wpływ dodatkowych obciążeń o wartościach charakterystycznych.

Rzeczywiste wartości ugięć, określone doświadczalnie, porównano z wartościami granicznymi dla dźwigara $a_{(gr)d} = 87$ mm oraz $a_{(gr)p} = 40$ mm dla płatwi. W efekcie przeprowadzonych badań potwierdzono, iż w warunkach zaistniałego pożaru nie nastąpiły odkształcenia skutkujące koniecznością wyeliminowania i rozbiórki konstrukcji nośnej ram.

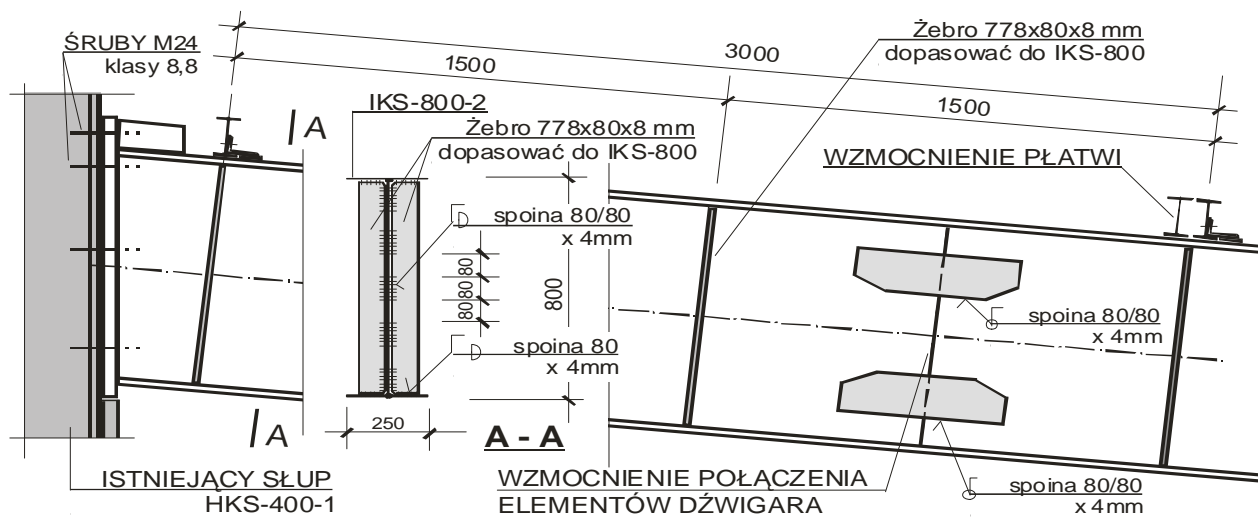
Wyniki pomiarów przemieszczeń rygli ram oraz płatwi dokumentują także liniową zmianę naprężeń i odkształceń stali w formie wynikającej z zależności określanej mianem prawa Hooke'a. Szczegóły realizacji badań zilustrowano na rys. 7, a wyniki pomiarów przemieszczeń dźwigarów i płatwi opracowano i przedstawiono w tab. 1.



Rys. 7. Schemat stanowiska pomiarowego

Tab. 1. Wyniki badań przemieszczeń dolnych stref dźwigarów i płatwi stalowych, spowodowanych działaniem pożaru

Blachownicowe dźwigary stalowe - $L_o = 21,71$ m																		
Numer dźwigara	nr 1			nr 2			nr 3			nr 4			nr 5		nr 6		Ugięcie graniczne	
Punkty pomiarowe	1/n	2/n	3/n	4/n	5/n	6/n	7/n	8/n	9/n	10/n	11/n	12/n	13/n	14/n	15/n	16/n		17/n
Ugięcie [mm]	62,7			68,0			85,0			30,0			35,0		38,0		87,0	
Płatwie stalowe - $L_o = 6,0$ m																		
Numer płatwi	nr 1			nr 2		nr 3		nr 4		nr 5		nr 6		Ugięcie graniczne				
Punkty pomiarowe	19/n	20/n	21/n	22/n	23/n	24/n	25/n	26/n	27/n	28/n	29/n	30/n	31/n		32/n	33/n	34/n	35/n
Ugięcie [mm]	24,0			28,0		18,0		26,0		28,0		23,0		40,0				



Rys. 8. Koncepcja konstrukcji wzmocnienia stalowej konstrukcji przekrycia dachowego

Przydatność elementów przekrycia do etapu rekonstrukcji oceniono na podstawie nierówności określonych w normie PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie, przyjmując do obliczeń projektowane wartości naprężeń granicznych. Sprawdzono nośność płatwi uwzględniając wpływ destrukcyjnych procesów spowodowanych pożarem na efekt stateczności lokalnej oraz fakt, iż wszelkiego typu blachy o grubości około 0,5 mm, łączone lokalnie z elementami nośnymi, nie stanowią w stadium działania wysokich temperatur, zabezpieczenia przed utratą stateczności. Uzasadniono konieczność wzmocnienia płatwi i opracowano koncepcję realizacji wzmocnień (rys. 8).

Przeprowadzono ocenę stanu naprężeń w ryglach ram z uwzględnieniem procesów spawania czołowego i projektowania rygli ram z trzech elementów. Procesom kontrolnym poddano naprężenia w zrealizowanych spoinach uwzględniając ich klasę i warunki użytkowania.

Stwierdzono, iż warunkiem zapewnienia globalnej stateczności dźwigarów było zastosowanie elementów wzmacniających połączenia czołowe oraz wykonanie usztywnień w formie poprzecznych żebrowanie środkowych, co pozwoliło na wyeliminowanie możliwości wystąpienia efektów uplastycznienia stref elementów zrealizowanych ze stali niestopowej znaku St3S.

6. Podsumowanie

Określenie stanu oraz identyfikacja parametrów materiałowych konstrukcji zniszczonej w efekcie pożaru i akcji gaśniczej jest procesem złożonym a formułowane wnioski są niejednokrotnie obarczone możliwością popełnienia błędu, którego konsekwencje mogą skutkować zagrożeniem bezpiecznej eksploatacji obiektu budowlanego. Pomocne w takich aspektach są metody naukowe. Autorzy pracy do oceny stanu stalowej konstrukcji wykorzystali metodę precyzyjnej niwelacji stanu odkształceń, wnioskując na podstawie przeprowadzonych badań o możliwości dalszej eksploatacji konstrukcji i sposobie jej wzmocnienia.

W procesie badawczym identyfikuje się stan zagrożenia i formułuje sposób zabezpieczeń lecz pomimo rzetelnego sposobu realizacji pomiarów i badań nie istnieje realna możliwość dostępu do wszystkich uszkodzonych fragmentów konstrukcji. Dlatego w sytuacjach niejednoznacznych, należy na bieżąco rozwiązywać problemy wykorzystując wszystkich uczestników procesu rekonstrukcji.

Literatura

- Rękas A. (2009). Przeciwdziałanie poważnym awariom przemysłowym. *Magazyn w akcji*, 5/2009.
- Sauć E., Bernaś M., Łukomski M. (2008). Odporność ogniowa warstwowych przekryć dachowych. *Materiały budowlane*, 10/2008.
- Słowek G., Szumigala M. (2005). Awaria hali handlowej spowodowana pożarem w: materiały XXII. *Konferencji naukowo-badawczej „Awaryje budowlane” Szczecin-Międzyzdroje 2005*, 763-770.
- Instrukcja nr 400 (2004). Zabezpieczanie przed korozją stalowych konstrukcji budowlanych za pomocą powłok malarskich. *Instytut Techniki Budowlanej*, Warszawa 2004.

THE FEATURES IDENTIFICATION OF STEEL ROOF STRUCTURE LOADED OF FIRE TEMPERATURE

Abstract: Problem of exploitation of multifunctional sport building, using special and modern ventilation devices is presented in the paper. Unproper exploitation of modern ventilation devices was the main cause of fire and then damage of some structural parts of the multifunctional sport hall. Results of fire and rescue action according to structural elements was presented. The reinforcement way of the structural elements and conditions for safe exploitation recapitulated the paper.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach realizacji projektu badawczego statutowego S/WBiŚ/3/09

