



Dr hab. inż. Walter WUWER, *Walter.Wuwer@polsl.pl*
Dr inż. Bernard KOWOLIK, *Bernard.Kowolik@polsl.pl*
Dr inż. Piotr KUCZ, *Piotr.Kucz@polsl.pl*
Dr inż. Jan ZAMOROWSKI, *Jan.Zamorowski@polsl.pl*
Politechnika Śląska

POŁĄCZENIA W KONSTRUKCJI HALI MIĘDZYNARODOWYCH TARGÓW KATOWICKICH W CHORZOWIE

JOINTS IN THE STRUCTURE OF THE MARKET HALL OF THE INTERNATIONAL KATOWICE FAIR IN CHORZÓW

Streszczenie W referacie zilustrowano kilka wybranych połączeń, w tym konstrukcje śrubowych styków montażowych w pasach kratowych podciągów głównych, a także sposoby oparcia płatwi kratowych na pasach podciągów, zastosowane w nośnej konstrukcji hali. Przedstawione węzły pozwalają zapoznać się z niektórymi wadami tej konstrukcji, która uległa całkowitemu zniszczeniu podczas katastrofy 28.01.2006 roku.

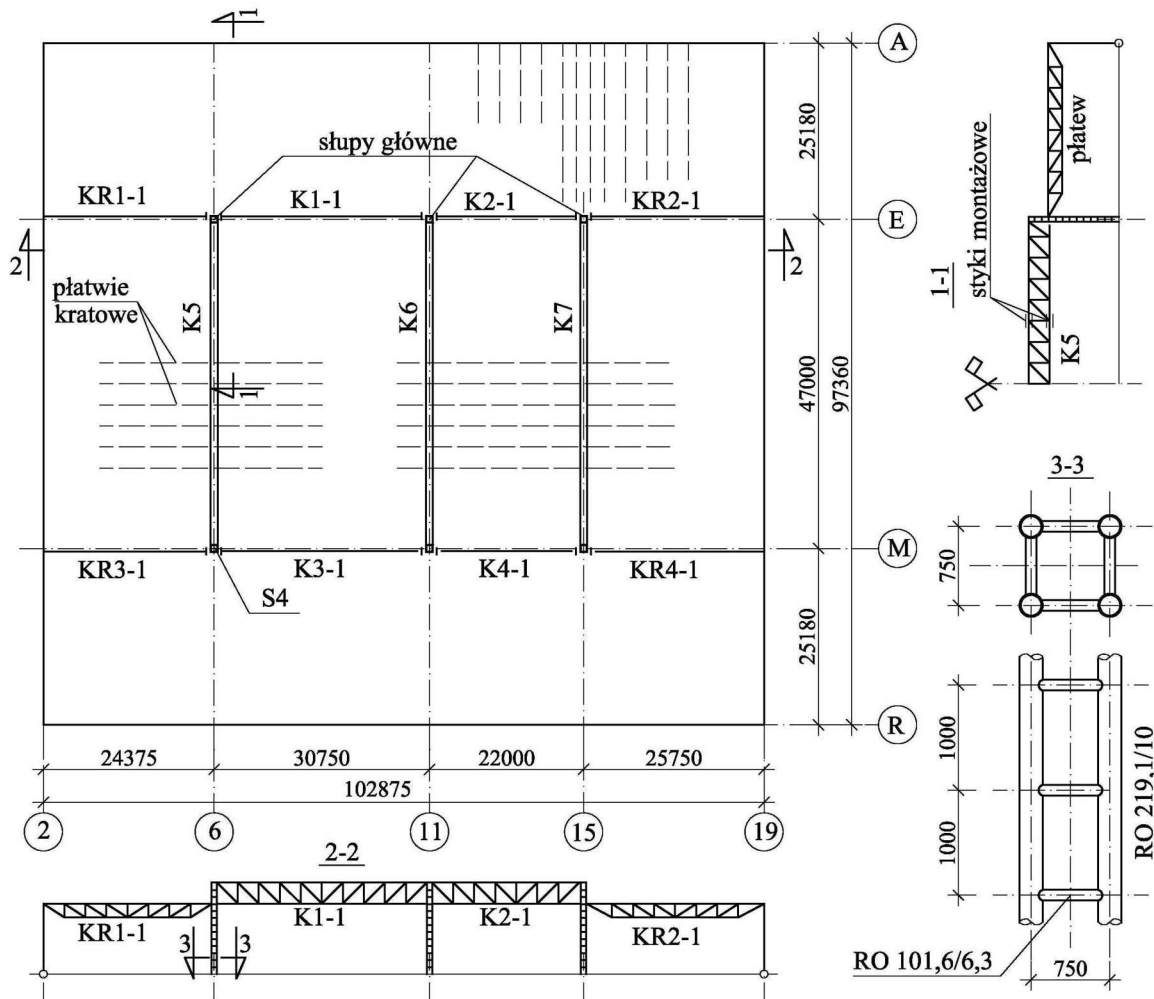
Abstrakt The paper presents several selected joints, including constructions of bolt connections in the assembly of the main beam flanges, as well as ways of supporting the truss rafters on the beams, applied in the supporting structure of the market hall. The presented nodes permit to see some of the defects in the design of the construction, which was destroyed completely during the disaster on January 28, 2006.

1. Wprowadzenie

Wyniki analizy statyczno-wytrzymałościowej stalowej konstrukcji nośnej hali, przedstawione szczegółowo w opracowaniu [1], zawierają także informacje o nośnościach styków montażowych na śruby, znajdujących się zarówno w trzech podciągach głównych o rozpiętościach 47,0 m, jak również we wszystkich pozostałych podciągach, a także płatwiach kratowych, których rozpiętości wynosiły od 22,0 do 30,75m (rys. 1). Układ wolnopodpartych belek kratowych przekrycia dachowego posiadał wymiary w rzucie poziomym 97,36×102,875m. Oddziaływania dachu były przekazywane w środkowej jego części na sześć 4-gałęziowych słupów głównych, utwierdzonych w żelbetowych fundamentach, natomiast wzdłuż obwodu hali na słupy wahacze, stanowiące elementy nośne ścian osłonowych.

Wiele węzłów w połączeniach głównych elementów konstrukcji hali zaprojektowano w sposób budzący poważne zastrzeżenia. W referacie pokazano wybrane styki montażowe w podciągach, niektóre inne połączenia, m.in. przykład mimośrodowego przekazywania reakcji płatwi kratowych na gałąź słupa głównego oraz na dolne i górne pasy podciągów głównych. Zapoznanie się z niektórymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi szczegółów pozwoli ocenić wady konstrukcyjne omawianej budowli. Krótka charakterystyka tych połączeń może

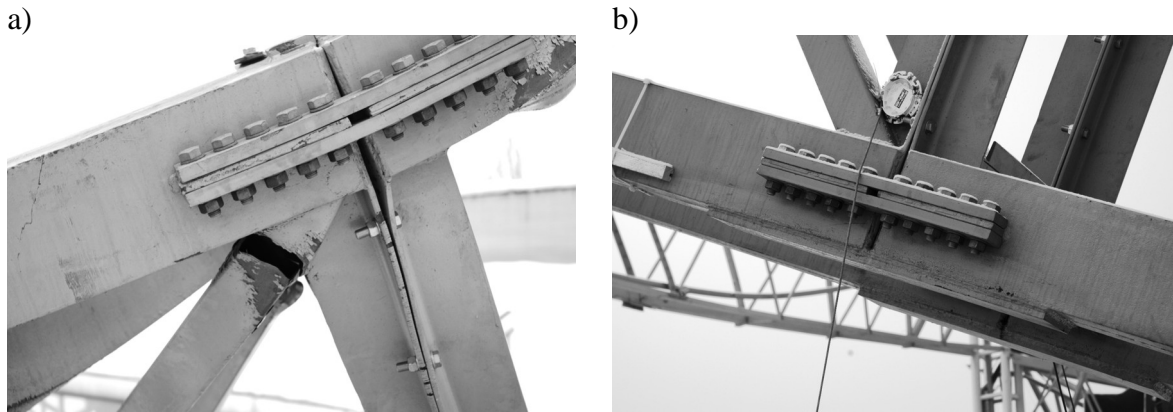
też uzasadnić zasięg katastrofy, obejmujący praktycznie cały dach hali wystawienniczej, a zarazem wyjaśnić krótki czas upadku całego dachu na posadzkę, wynoszący zaledwie kilkanaście sekund.



Rys. 1. Główne elementy nośne stalowej konstrukcji hali wystawienniczej

2. Styki montażowe w podciągach głównych

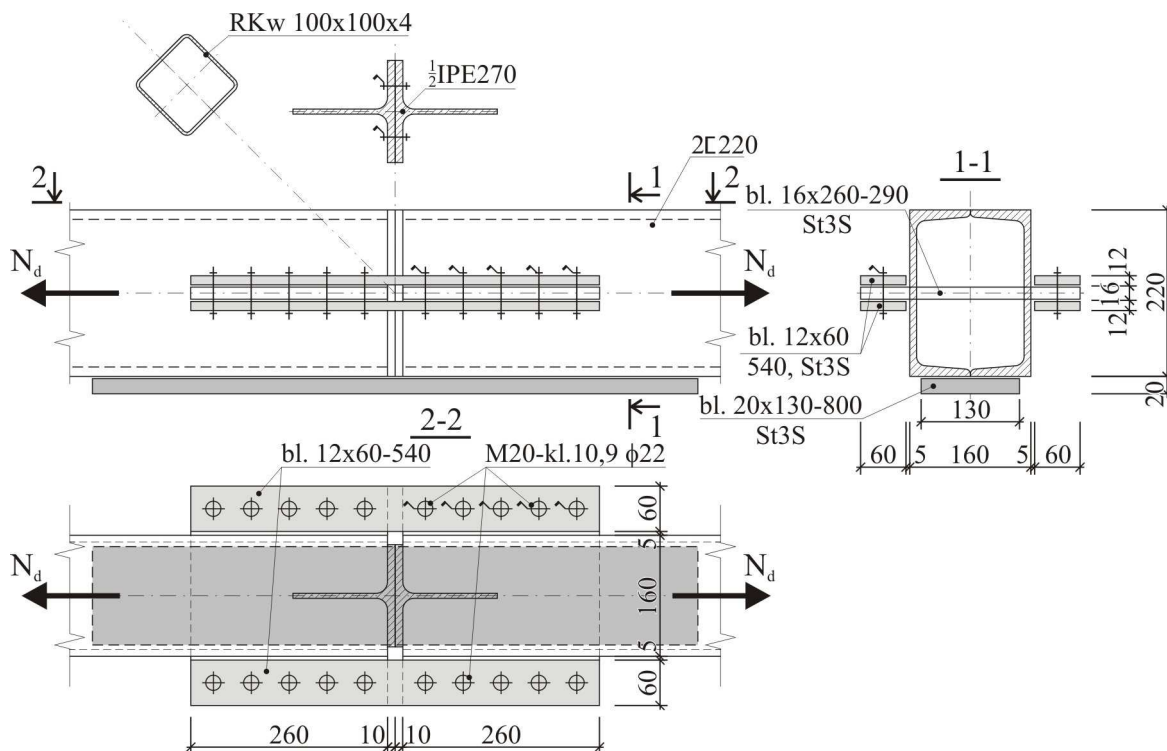
Przykładem wadliwego rozwiązania konstrukcyjnego były niekonwencjonalne styki montażowe w pasach górnych (rys. 2a) i dolnych (rys. 2b) dwóch kratownic (oznaczonych w projekcie D3-29 lub D3-30), tworzących trzy główne podciągi K5, K6 i K7 o rozpiętości 47,0 m. Blachy środkowe (bl. 16×260-290) w styku pasa dolnego przyspawane do 2[220, „przeszywające” na wskroś przekrój pasa przekazywały siłę rozciągającą z jednego odcinka pasa na drugi za pośrednictwem 4-ch nakładek (bl. 12×60-540), połączonych z nimi 10 śrubami M20 kl. 10.9 (połączenie niesprężone). W przenoszeniu siły uczestniczyła także blacha grubości 20 mm przyspawana od spodu do półek ceowników. Podciągi oraz elementy styków wykonano ze stali St3S (S235 JR).



Rys. 2. Styki montażowe śrubowe w podciągach głównych: a) w pasie górnym podciągu K7 w osi 15, b) w pasie dolnym podciągu K6 w osi 11

Wartości sił projektowych występujących w stykach dolnych pasów podciągów głównych K5 i K6 oraz odpowiadające im warunki nośności były następujące (rys. 3):

- w przypadku podciągu K5: $N_d = 1853,6 \text{ kN}$ (1743,1 kN) oraz $4,74 > 1,0$ ($4,46 > 1,0$);
 - w przypadku podciągu K6: $N_d = 1713,7 \text{ kN}$ (2164,9 kN) oraz $4,38 > 1,0$ ($5,52 > 1,0$);
- dla porównania, w nawiasach podano oszacowane wartości sił rzeczywistych, występujących w pasach w dniu katastrofy. Przekroczone znacznie warunki nośności odpowiadają rozwiązaniu, kiedy to przekrój 4-ch nakładek – przejmujących pierwotnie siły rozciągające w styku – stanowił zaledwie 24% pola powierzchni przekroju pasa.



Rys. 3. Konstrukcja styku montażowego w dolnych pasach podciągów głównych, w latach 1999÷2002

Trudności w dopasowaniu elementów pasa w stykach podczas montażu – jak wynika z informacji zamieszczonych w [2] – spowodowały, iż autorzy projektu postanowili przyspawać od spodu blachę 20×130-800 ze stali St3S, która jednak nie poprawiła nośności styków. Takie wzmocnienie spowodowało dodatkowo zginanie przekroju elementów styku

wskutek obniżenia położenia osi obojętnej w stosunku do osi przekroju pasa podciągu. Nośności styku były nadal przekroczone jak na poprzednich poziomach.

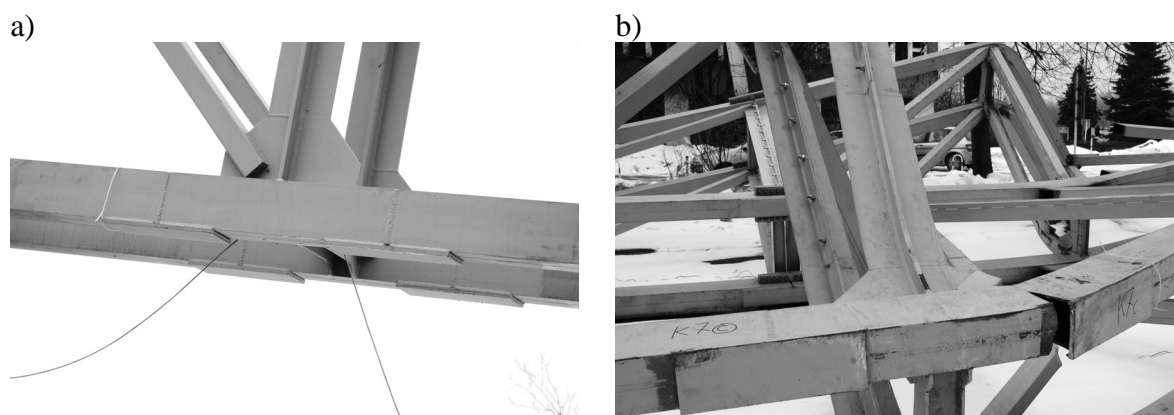
Warto zwrócić uwagę na przekrój słupka usytuowanego w osi styku (por. rys. 2b i 3), który tworzą dwie gałęzie z połówek dwuteowników (1/2IPE 270), połączone ze sobą na wysokości – dwiema parami śrub M16 w odstępach co 240 mm.

W styczniu 2002 roku nastąpiła awaria styków w podciągu głównym K7. Zniszczenie 4-ch styków (por. 1-1 na rys. 1) polegało na [3, 4]:

- powstaniu w styku szczeliny pionowej o szerokości 20 mm,
- zerwaniu pary śrub, łączących gałęzie słupka, w najbliższym sąsiedztwie styku,
- pęknięciu blachy od spodu oraz spoin pachwinowych łączących ją z ceownikami,
- zniszczeniu blach środkowych.

Należy bardzo mocno podkreślić, iż przebadano wówczas metodą magnetyczno-proszkową [5] wszystkie spoiny w 4-ch stykach podciągu K7. Wyniki tych badań były negatywne [6]. Spoiny określono jako nie spełniające wymagań klasy W5. Niestety, na tych niepokojących wynikach porzeczono i nie sprawdzono żadnych innych spoin w konstrukcji. A należało wówczas – zdaniem autorów ekspertyzy [1] – obowiązkowo sprawdzić jakość spoin w kilku innych analogicznych stykach pozostałych podciągów, a ponadto w dowolnym innym ważnym połączeniu w konstrukcji, np. spoin łączących pręty przewiązek z gałęziami słupów, które okazały się niepełnowartościowe z uwagi na brak przetopu, co można było stwierdzić podczas pierwszych oględzin konstrukcji, lecz niestety już po katastrofie.

Podjęto się wówczas – przy merytorycznym udziale autorów projektu – ogromnie odważnego zabiegu wycięcia w podciągu K7 fragmentów konstrukcji ze stykami śrubowymi i zastąpieniu ich węzłami spawanymi (rys. 4a). Przedsięwzięcie to wykonano na podstawie uprzednio sporządzonego projektu wzmocnienia styków i tymczasowego podparcia podciągu K7 na czas realizacji wymiany styków.



Rys. 4. Styki w kratownicach D3-29 i D3-30 podciągu K7: a) po wymianie uszkodzonych styków śrubowych na styki spawane, b) po upadku podciągu na posadzkę w dniu katastrofy

W pozostałych dwóch podciągach głównych K5 i K6 cztery nakładki styku śrubowego wymieniono na grubsze i szersze ze stali 18G2A (S355 JO), tj. bl. 20×65-540, a śruby niesprężone M20, klasy 10.9, zastąpiono takimi samymi śrubami sprężonymi.

Taki zabieg nie mógł być skuteczny, stąd warunki nośności styków były nadal przekroczone:

- w podciągu K5: $1,93 > 1,0$ ($1,81 > 1,0$),
- w podciągu K6: $1,78 > 1,0$ ($2,25 > 1,0$).

Awaria styków w 2002 roku była sygnałem do sprawdzenia obliczeń, czego autorzy projektu niestety nie uczynili. Chociaż wypada zauważyć, że stan techniczny styków śrubowych w podciągach głównych K5 oraz K6 po katastrofie nie wskazywał na ich

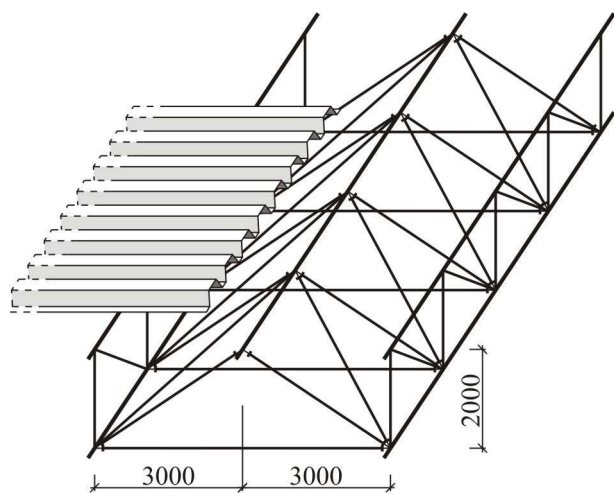
wcześniejsze uszkodzenie. W podciągu K7 natomiast – lecz już po jego upadku na posadzkę – stwierdzono pęknięcie dolnego pasa w sąsiedztwie styku spawanego w wymienionym fragmencie konstrukcji (rys. 4b).

Pęknięcie pasa dolnego wraz ze ścięciem spoin pachwinowych łączących nakładkę z dolnymi półkami ceowników nastąpiło w miejscu skoku sztywności przekroju, tj. tam gdzie kończyła się blacha węzłowa a zaczynała nakładka (por. z rys. 4a).

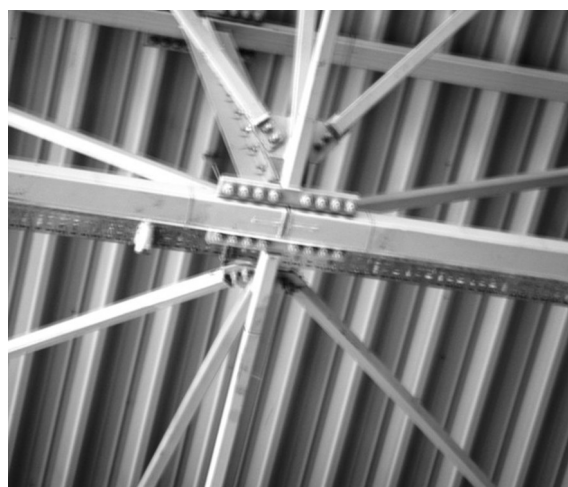
3. Połączenia prętów pseudo-struktury

Poprawnie zaprojektowane przekrycia strukturalne nie wymagają na ogół stężeń połączeniowych. Występujący w takich przekryciach układ prętów zapewnia połaci dachowej geometryczną niezmienność. Ponadto w zagranicznych rozwiązaniach strukturalnych, w węzłach których spotyka się kilka prętów, stosuje się elementy wiążące, np. w postaci kul z nagwintowanymi otworami (system „Mero”), w które wkręca się końcówki prętów z gwintowanymi trzpieniami.

Przekrycie omawianej hali wystawienniczej nie było strukturą, ponieważ same pręty, bez odpowiedniej współpracy z arkuszami blach fałdowych, nie zapewniały połaci geometrycznej niezmienności (rys. 5). Warto przy tym zwrócić uwagę na liczbę ukośnych prętów „piramidek”, przekazujących na pas dolny płatwi kratowej oddziaływania z pośredniej płatwi belkowej, przykładowo w miejscu styku montażowego na 8 śrub, a także na niewspółśrodkowe połączenia prętów w tym węźle, przy pominiętych w obliczeniach do projektu, znacznych mimośrodach (rys. 6).



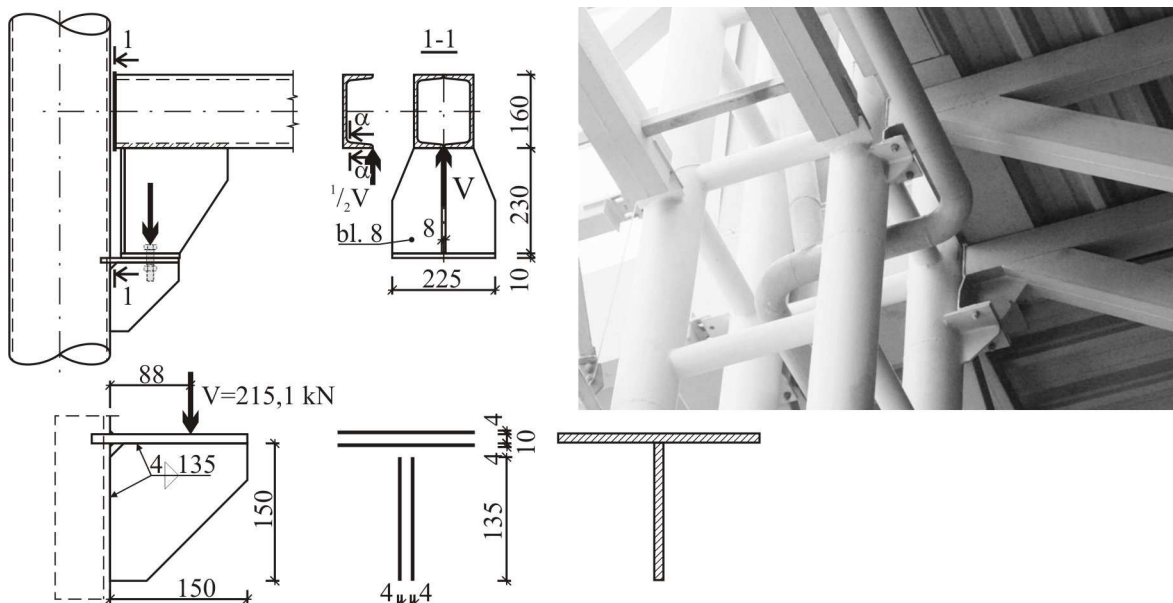
Rys. 5. Schemat układu prętów tworzących pseudo-strukturę



Rys. 6. Połączenie prętów pseudo-struktury w styku montażowym dolnego pasa płatwi kratowej

4. Przykład oparcia podciągu na gałęzi słupa głównego

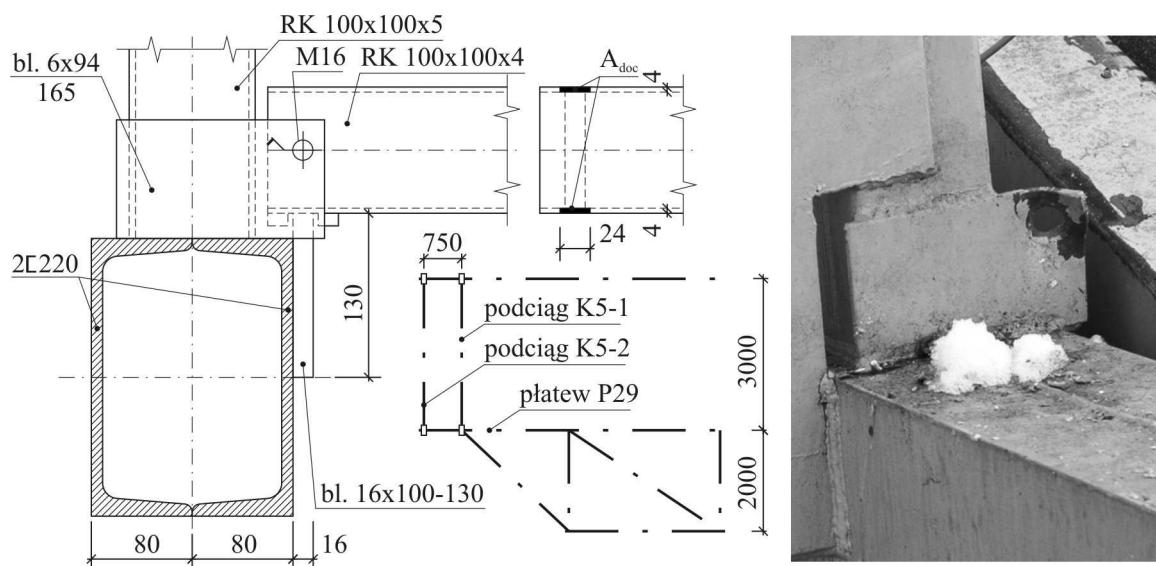
Każda z 4-ch gałęzi o przekroju RO219,1/10 słupa głównego, wzajemnie połączonych ze sobą także prętami rurowymi o przekrojach RO101,6/6,3, rozmieszczonymi na wysokości słupa w odstępach co 1000 mm (por. rys. 1, przekrój 3-3), przejmowała oddziaływania podciągu kratowego lub płatwi kratowej, często za pośrednictwem przyspawanych do niej wsporników. Przykładowo podciąg KR3-1 o rozpiętości 24,375 m przekazywał reakcję 215,0 kN na gałąź słupa głównego S4 w osi M za pośrednictwem wspornika o wys. 150 mm (rys. 7, por. rys. 1). Naprężenia w spoinach oraz w materiale wspornika były niewiele przekroczone (bo odpowiednio tylko o ok. 20% i 40%), natomiast warunek nośności zginanych półek ceowników mógł być przekroczony nawet ponad 4-krotnie.



Rys. 7. Oparcie węzła podporowego podciągu KR3-1 na wsporniku przyspawanym do gałęzi słupa S4 w osi M

5. Sposoby oparcia płatwi na pasach podciągów głównych

Reakcje pionowe płatwi kratowych i belkowych były przekazywane mimośrodowo na podciągi główne K5 i K7 o przekroju quasi-skrzynkowym, zarówno na pasy górne – z wyższej części dachu, jak i na pasy dolne – z części niższej. Rozwiązanie takie powodowało skręcanie podciągów, składających się z dwóch kratownic połączonych ze sobą górną i dolną słupkami poziomymi oraz po obwodzie przekroju podciągu, tj. wzdłuż słupków pionowych i poziomych, blachami stężającymi. Skręcanie to mogło mieć określony udział w przebiegu załamывania się dachu w momencie katastrofy, w tym głównych podciągów przede wszystkim.

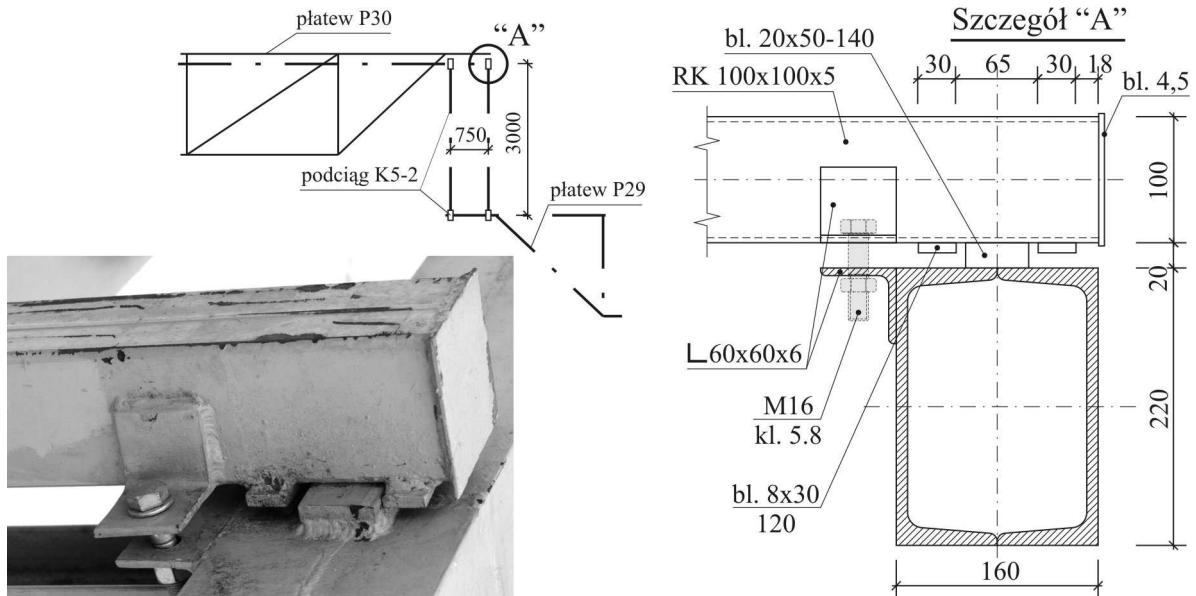


Rys. 8. Oparcie płatwi kratowej P29 na dolnym pasie podciągu K5-1 (D3-29)

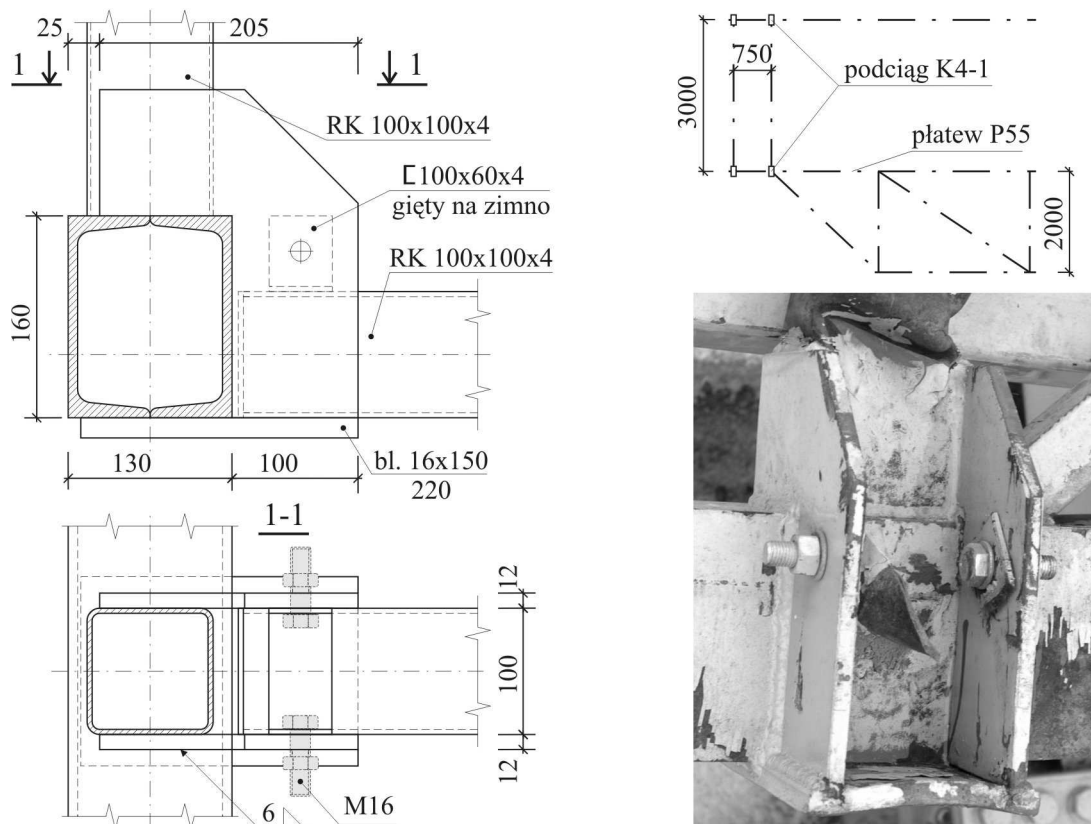
Przykładowo reakcję płatwi na dolnym pasie podciągu K5 przejmowała blacha o grubości 16 mm, przyspawana do środka ceownika (rys. 8). Naprężenia dociskowe – przy założeniu modelu liniowo-sprężystego – mogły w tym przypadku prawie 2,5-krotnie przekraczać

wartości normowe (reakcja płatwi: $V = 148,3 \text{ kN}$; $\sigma_{doc} = 772,0 \text{ MPa} > 1,25 \cdot f_d = 1,25 \cdot 255,0 = 319,0 \text{ MPa}$; f_d – wg próby na rozciąganie dla materiału z RK100×100×4).

Rozwiązanie oparcia płatwi na górnych pasach podciągu K5 za pośrednictwem płytki centrującej, poza znacznym mimośrodem w przekazaniu reakcji na jego przekrój, umożliwiło wzajemne przemieszczanie się płatwi względem pasów podciągu, co mogło mieć pewne znaczenie, jeśli przyjąć, że blacha fałdowa miała pełnić rolę tarczy dachowej (rys. 9).



Rys. 9. Przesuwne oparcie płatwi na górnym pasie podciągu głównego K5 (D3-30 + D3-29)



Rys. 10. Gniazdo oparcia węzła podporowego płatwi kratowej P55 na dolnym pasie podciągu K4-1 w osi M

Także mimośrodowo względem osi pasa dolnego podciągu K4-1 skonstruowano gniazdo oparcia płatwi kratowych. Połączenie na 2 śruby M16 cienkich półek ceownika giętego na zimno o grubości ścianki 4,0 mm z blachami węzłowymi zrywało się bez trudu podczas procesu załamywania się konstrukcji przekrycia dachowego (rys. 10a). Wewnątrz gniazda pozostały oderwane półki ceownika (rys. 10b).

6. Podsumowanie

Układ konstrukcyjny hali wystawienniczej był bardzo niebezpieczny. Utrata bowiem jednego głównego elementu nośnego, kratownicowego podciągu lub słupa, a w podciągu nawet jednego pręta czy styku, mogła spowodować załamanie się całej konstrukcji, jak to miało miejsce w dniu 28 stycznia 2006 roku.

Błędy obliczeniowe (projektowe) i konstrukcyjne oraz schemat statyczny ustroju nośnego były bezpośrednią przyczyną katastrofy o takim zasięgu [1]. Ponad 2-krotne przekroczenie nośności w głównych elementach konstrukcji nośnej, a także w wielu innych elementach, takich jak przewiązki w słupach głównych, musiało w końcu zakończyć się katastrofą. Zlekceważono sygnały, które konstrukcja „kierowała” do gospodarzy obiektu, których zachowanie należy uznać za wysoko naganne.

Przedstawione połączenia miały niewiele wspólnego z realnymi warunkami wyτέżenia konstrukcji, a popełnione błędy konstrukcyjne mogą świadczyć o braku wystarczającego przygotowania zawodowego autorów projektu do sporządzania projektów konstrukcji o dużych rozpiętościach.

Można przypuszczać, że gdyby połączenia płatwi z podciągami były skonstruowane poprawnie – wówczas przekrycie dachowe, podczas załamywania się, mogłoby zawisnąć nad głowami ofiar katastrofy, a nie upaść w całości na posadzkę w ciągu kilkunastu sekund.

Literatura

1. Mendera Z., Niewiadomski J., Zamorowski J. i inni: Analiza przyczyn i okoliczności katastrofy budowlanej pawilonu wystawienniczego przy ul. Bytkowskiej 1 w Chorzowie na terenie Międzynarodowych Targów Katowickich, Katedra Konstrukcji Budowlanych, Politechnika Śląska, praca NB-33/RB-2/06, Gliwice, marzec 2006.
2. Rysunki wzmocnienia styków w pasach dolnych głównych podciągów kratowych oraz podciągów podłużnych wyższej części dachu. Wykonawca: EKO-TECH II, Katowice, październik 1999 r.
3. Protokół z ustaleń w sprawie uszkodzenia konstrukcji nośnej pawilonu wystawowego Nr 1 MTK, Katowice, z dnia 04.01.2002 r.
4. Ekspertyza odkształcenia i wytyczne sposobu naprawy konstrukcji stalowej dachu pawilonu wystawowego nr 1. Wykonawca: EKO-TECH Sp. z o.o., Katowice, styczeń 2002.
5. PN-EN-1290:2000. Badania nieniszczące złączy spawanych. Badania magnetyczno-proszkowe złączy spawanych. Ocena zgodnie z PN 85/M-69775.
6. Sprawozdanie z badań Nr 18/2002. Badanie wadliwości spoin pachwinowych w stykach montażowych na śruby w dźwigarach D3-29 i D3-30, w osi 15. Wykonawca: Mostostal Zabrze, Holding S.A., Laboratorium Zakładowe Działu Kontroli Jakości, Gliwice, luty 2002 r.