



Prof. dr hab. inż. Wojciech ŻÓŁTOWSKI, ikb@il.pw.edu.pl
Dr inż. Stanisław WIERZBICKI, s.wierzbicki@il.pw.edu.pl
Mgr inż. Maciej CWYL, maciekcw@op.pl
Mgr inż. Jan WITKOWSKI, j.witkowski@il.pw.edu.pl
Mgr inż. Paweł KRÓL, p.krol@il.pw.edu.pl
Politechnika Warszawska

PEKNIĘCIA SŁUPÓW W UŻYTKOWANYM OBIEKCIE WIELKOPOWIERZCHNIOWYM

CRACKS OF COLUMNS IN BEING USED SIZABLE COMMERCIAL BUILDING

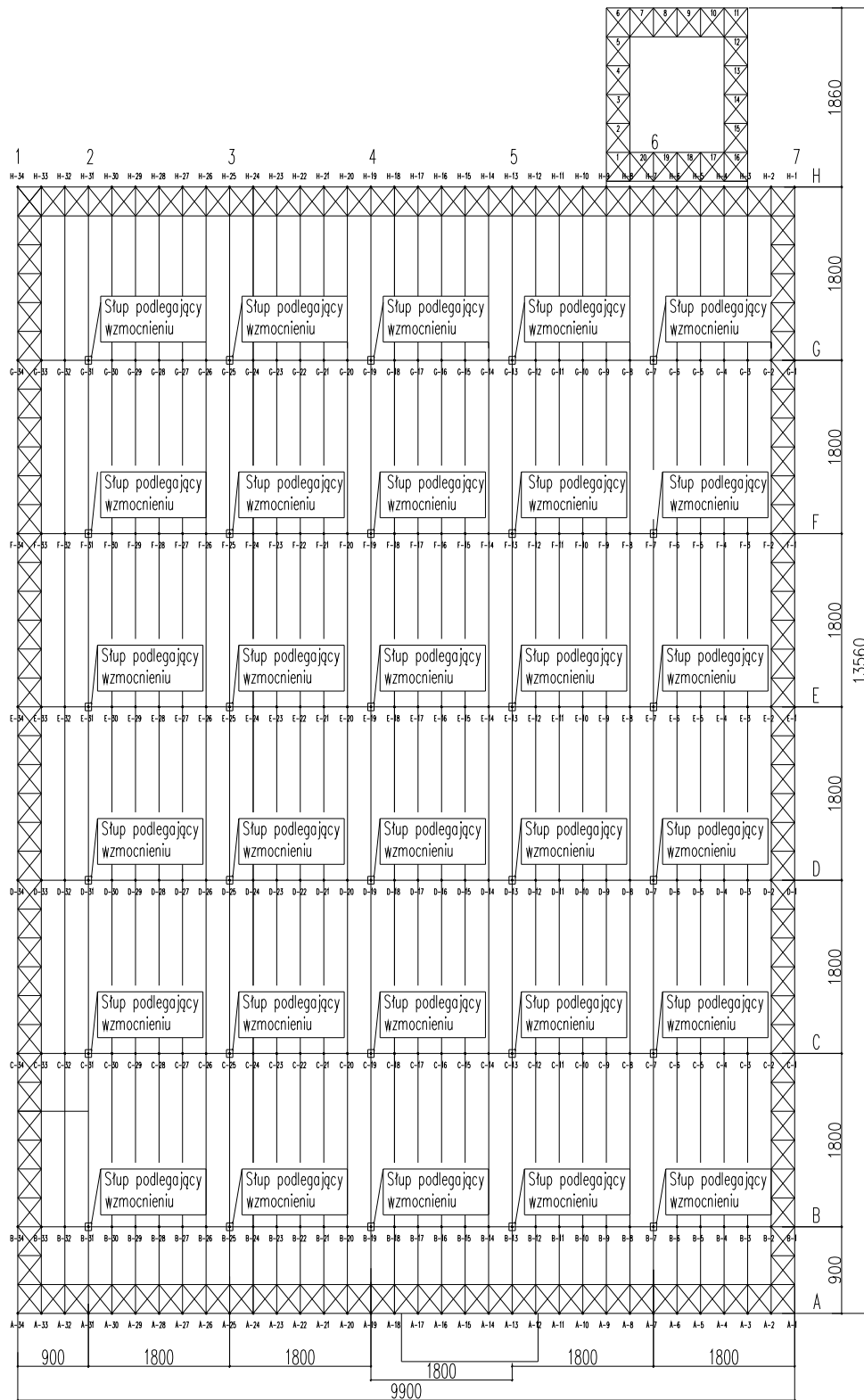
Streszczenie Referat dotyczy wykrytych wad trzonów słupów stalowych w wielkopowierzchniowym obiekcie handlowym. Wykryte podczas przeglądu pęknięcia trzonów słupów są wynikiem błędów wykonawczych popełnionych w trakcie realizacji inwestycji. Słupy nie miały wystarczającej nośności do przejścia występujących w tym rejonie kraju, obciążeń śniegiem i wiatrem, a w wypadku braku ich naprawy istniała realna groźba katastrofy budowlanej.

Abstract The paper is dedicated to the detected cracks of steel columns in sizable one-store commercial building. As the authors suppose, the main reason of column's cracks were designing and technological mistakes which occurred under construction. Due to fault welds, joining steel plates of the cross section, the described steel columns had finally insufficient load-bearing capacity. In the wintertime, the snowfall of the permissible level might decrease the safety of the building or even cause the structure breakdown.

1. Ogólny opis konstrukcji hali

Podlegający przeglądowi obiekt jest wieloprzestrzennym sklepem z materiałami budowlanymi. Konstrukcja obiektu została zaprojektowana jako stalowa ze słupami skrzynkowymi, spawanymi z blach i opartymi na nich spawanymi blachownicami o przekroju dwuteowym. Na blachownicach oparte są rozstawione co 3 m jednoprzęsłowe płatwie kratowe o pasach równoległych, wykonane w całości z profili zamkniętych. Płatwie stanowią podparcie dla blachy trapezowej pokrycia. Rozstaw blachownic i słupów to 18m, a całkowite wymiary obiektu w rzucie – 99x117 m (rys. 1). Blachownice zostały zaprojektowane jako ciągłe o stałej wysokości i zmiennych przekrojach blach, z których wykonane są blachownice. Ich styki na długości zaprojektowano jako doczołowe. Oparcie blachownic na słupach – przegubowe. Płatwie są oparte na blachownicach w sposób przegubowy z dodatkowym usztywnieniem pasów dolnych blachownic, które zrealizowano poprzez zastosowanie łączników rurowych pomiędzy dolnymi pasami płatwi kratowych i dolnymi pasami blachownic. W celu zabezpieczenia płatwi kratowych przed obrotem zastosowano zastrzały od dolnych pasów płatwi do blachy trapezowej pokrycia. Stężenie połączenia dachowej stanowi

układ cięgnowo-słupkowy na obwodzie hali – cięgna stanowią pręty okrągłe z nakrętkami napinającymi, a słupki – profile zamknięte o przekroju okrągłym.



PARKING I ELEWACJA FRONTOWA WEJŚCIA GŁÓWNEGO

Rys. 1. Schemat konstrukcji omawianego obiektu.

2. Wykryte wady trzonów słupów głównych

Na przełomie 2004/2005 jeden z obiektów należący do tej samej sieci sklepów, co omawiany w niniejszym referacie, uległ awarii konstrukcji dachu. Konstrukcja dachu zapadła się do wnętrza sklepu pod ciężarem worka śnieżnego. Awaria ta stała się powodem podjęcia decyzji o przeprowadzeniu szczegółowych przeglądów technicznych pozostałych obiektów tej sieci rozmieszczonych na terenie całego kraju. Przeglądu omawianego obiektu zlokalizowanego w Warszawie dokonano w okresie maj – wrzesień 2006.r. Całość prac prowadzona była przez pracowników Zakładu Konstrukcji Metalowych Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Wyżej wymieniony przegląd prowadzony był etapami i dotyczył poszczególnych części budynku: konstrukcji dachu, połączeń, stężeń i w ostatnim etapie słupów głównych. Dokładne i odrębne opracowanie dotyczące słupów zostało wykonane z uwagi na niepokojące spostrzeżenia poczynione przy okazji oględzin innych elementów konstrukcji dachu. Okazało się w trakcie przeglądów, iż na niektórych słupach stalowych, w połowie ich wysokości znajdują się rysy z odpryskami farby i złuszczoną miejscowo warstwą ocynku.



Rys. 2. Widok konstrukcji dachu. Płatwie kratowe dł. 18 m, rozlokowane co 3 m na blachownicach podpartych w/w słupami co 18 m.

Pęknięcia te świadczyły o stanie przedawaryjnym konstrukcji i wymagały natychmiastowego dokładnego zbadania przyczyn pęknięć i ich charakteru oraz podjęcia działań naprawczych. Z przeprowadzonej analizy dokumentacji wynikało, że słupy wykonano jako skrzynkowe z blach grubości 8mm, w przekroju kwadratowe o szerokości boku 30 cm. Z dokumentacji tej wynikało też, że opisywane słupy wewnątrz trzonu miały przepony rozmieszczone co około ~160 cm wzdłuż ich całej wysokości. Pośrednia przepona była usytuowana w połowie wysokości słupa i na tej, właśnie, wysokości obserwowano największą liczbę pęknięć na ściankach słupów. Przepony w trzonie były zamontowane w ten sposób, że w przekrój skrzynkowy do trzech ścianek słupa od wewnątrz przyspawano je za pomocą spoin pachwinowych, natomiast czwarta, zamykająca przekrój słupa ścianka zamykała pola pomiędzy przeponami. Wysunięte przepony na czwartej ścianie trzonu słupa tworzyły przerwę w blachach tworzących trzon i z w/w blachami miały być łączone za pomocą spoin czołowych o grubości 8 mm.



Rys. 3. Obserwowane z zewnątrz pęknięcie ściany trzonu słupa.

W trakcie prowadzonych prac badawczych wykonano analizę obliczeniową pozwalającą na określenie faktycznego wyężenia trzonu słupa z wykrytymi wadami. Do obliczeń przyjęto przekrój słupa z pominięciem fragmentu ścianki z pęknięciem, co w praktyce oznaczało pominięcie całej jednej ścianki. Ten etap obliczeń pozwolił jednoznacznie określić czy jest możliwa eksploatacja obiektu z takimi uszkodzeniami oraz czy jest możliwe pobranie próbek do badań z uszkodzonych słupów bez konieczności wcześniejszego wzmocnienia ich przekroju. Z analizy obliczeń wynikało, że przy ograniczonym obciążeniu śniegiem i wiatrem uszkodzony słupek jest w stanie przenieść pozostałe obciążenia.

Na podstawie obliczeń statyczno-wytrzymałościowych trzonów słupów z powstałymi uszkodzeniami stwierdzono, że słupki w istniejącym stanie nie zagrażają bezpieczeństwu konstrukcji przy obciążeniach stałych i technologicznych (projektowanych) dachu. Biorąc pod uwagę niewielkie (nie przekraczające 0.05kN/m^2) obciążenie technologiczne dachu (oświetlenie i instalacje tryskaczowe) przyjęto, że uszkodzone słupki nie zagrażają bezpieczeństwu konstrukcji przy obciążeniu dachu śniegiem nie większym niż 0.30kN/m^2 . Odpowiada to (zgodnie z PN-80/B-02010/Az1) grubości 7.5cm mokrego śniegu. Założenie to sprawdzone zostało przy dopuszczalnej dla rejonu centralnej Polski wartości obciążenia wiatrem na budynek.



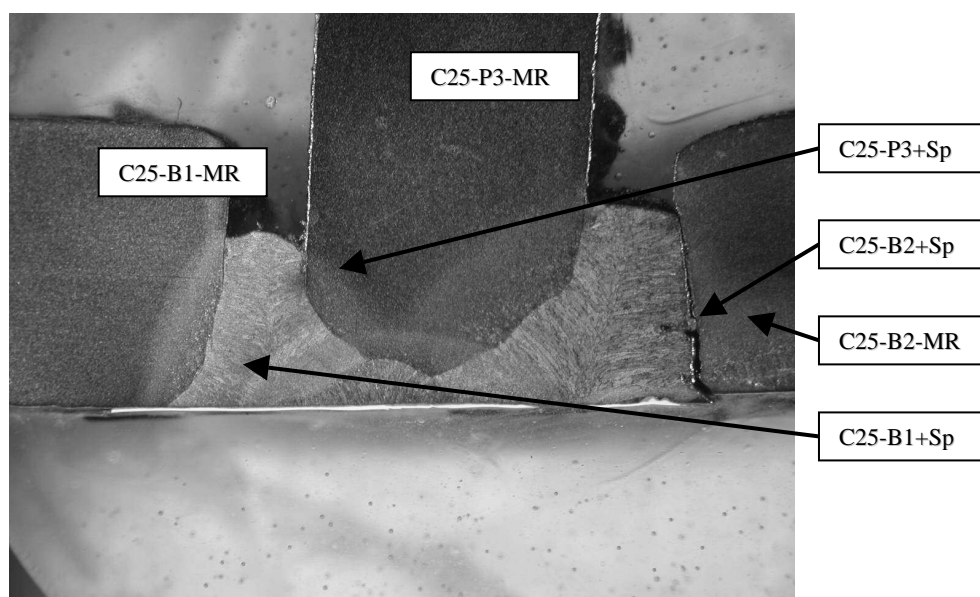
Rys. 4. Widoczny trzon z pobranym materiałem do badań.

Pierwszym słupem, w którym wykryto wadę konstrukcyjną był słup w osiach C-25 (rys. 3). W trzonie tego słupa na wysokości 330cm od posadzki wystąpiło pęknięcie na całej szerokości jednej ścianki. Pęknięcie umiejscowione było na ścianie w kierunku osi D na osi 25. Jest to miejsce gdzie pobrano pierwszy element do badań. Takie samo pęknięcie podczas przeglądu zlokalizowano na słupach C-7, E-13. Analogiczny charakter miały pęknięcia ścian trzonów słupów w osiach E-19 i F-7. Były one jednak zlokalizowane na wysokościach 70 i 160 cm od głowicy słupa.

3. Analiza wykrytych wad konstrukcyjnych słupów.

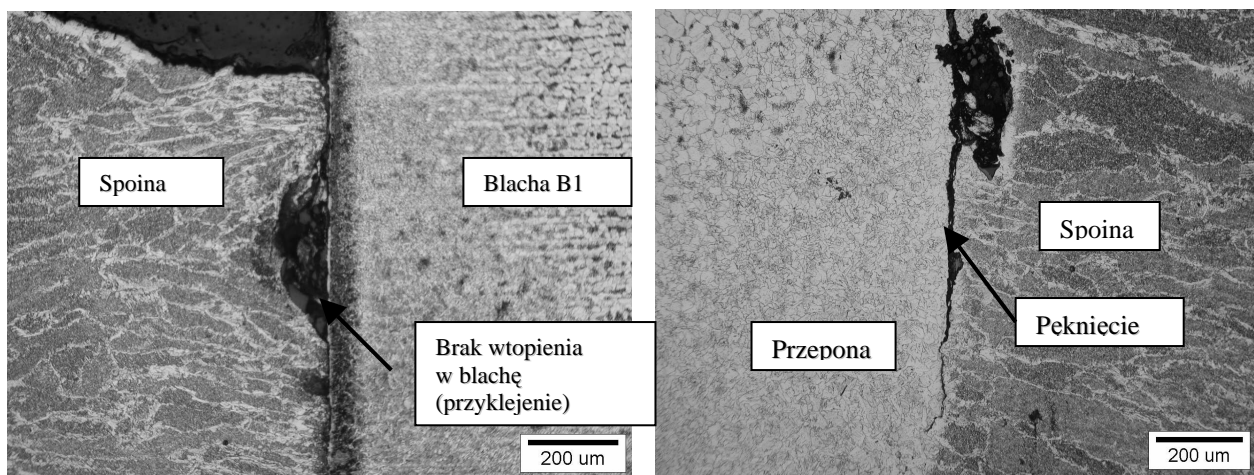
Badania wykonano na fragmentach dwóch złączy wyciętych ze stalowych słupów. Obydwa fragmenty obejmują połączenie spawane blach trzonu słupa z przeponą. Blachy (o grubości 8 mm) oznaczono na zdjęciach przekrojów poprzecznych złączy symbolami B1 i B2, przepony (również gr. 8 mm) symbolem P3. Widoczny na przekroju złącza słupa element F7 oznaczony jako W4 to wkładka ze stali, której zadaniem było prawdopodobnie wypełnienie szczeliny między czołami przepony a blachą słupa.

Gatunki stali, z których wykonano elementy słupa nie są znane. Na podstawie badań mikrostruktury można sądzić, że blachy są wykonane z innej stali niż przepony, przy czym obie stali należą do grupy spawalnej stali niestopowej, niskowęglowej ferrytyczno – perlitycznej. Zawartość węgla w stali, z której wykonano blachy, jest większa niż w stali użytej na przepony. Stal, z której jest wykonana wkładka W4, prawdopodobnie nie należy do stali niestopowych, niskowęglowych. Należy podkreślić, że wkładek takich nie powinno się stosować – jest to niezgodne z zasadami projektowania i wytwarzania konstrukcji metalowych. Spoina łącząca blachę B1 z przeponą P3, była zukosowana na głębokość ok. 3 mm, ma grubość ok. 5 mm, ale w części graniowej spoiny występują przyklejenia (brak wtopienia, szczególnie w przeponę) oznaczone strzałkami C25-B1+Sp i C25 -P3+Sp co sprawia, że ich efektywna grubość wynosi ok. 4 mm. Spoina łącząca blachę B2 trzonu z przeponą P3 wskazuje, że krawędź przepony była zukosowaną na głębokość ok. 3,5 mm. Wtopienie w przeponę jest poprawne, natomiast nie ma wtopienia w blachę B2. Skutkiem tego jest brak spojenia w postaci ciągłej linii oznaczonej strzałką C25-B2+Sp. Grubość spoiny wynosi ok. 6 mm. Według projektu spoiny te jako czołowe wydano o grubości 8 mm.

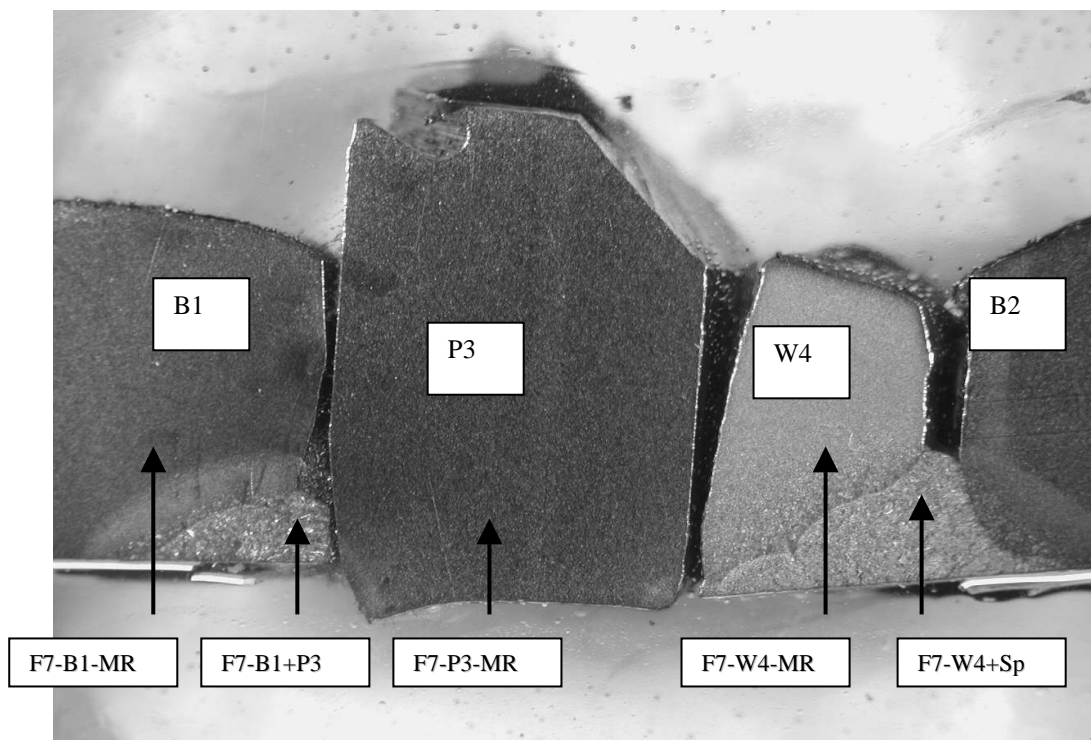


Rys. 5. Przekrój połączenia z widocznym pęknięciem spoiny C25-B2+Sp.

Poniżej przedstawiono dalsze przykłady błędów spoin i ich obraz po powiększeniu i opracowaniu. Na rysunku nr 6 widać wyraźnie ciągły brak wtopienia w powierzchnię blachy B1 w pobliżu grani spoiny. Rysunek nr 7 natomiast przedstawia wadę w postaci pęknięcia, które prawdopodobnie rozwinęło się z braku wtopienia w przeponę. Na brak wtopienia wskazują niewielkie zmiany mikrostruktury materiału rodzimego przepony. Godnym uwagi jest również rys. 8. Widać tu wyraźnie, że oprócz samej niedbale wykonanej spoiny także trzon słupa wykazał niedopuszczalne niezgodności. Niedokładnie wykonane blachy trzonu słupa (zbyt krótkie blachy) uzupełniane były w obrębie spoin wkładkami, na dodatek z innego gatunku stali. W tym wypadku spoina łącząca blachę B1 z przeponą P3 praktycznie nie istnieje. Nadtopiona została tylko blacha B1 i nie widać żadnego wtopienia w przeponę W4 mającą zniwelować nadmierną szczelinę, dodatkowo nie została ona połączona spoiną z przeponą P3. Tak więc w dwóch przekrojach nie ma więzi między elementami złącza. Spoina łącząca blachę B2 z wkładką W4 ma grubość zaledwie 3 mm. Wtopienie we wkładkę i blachę B2 jest poprawne (patrz rys. 8.). Rysunki przytoczone poprano z próbki słupa C-25 oraz F-7.



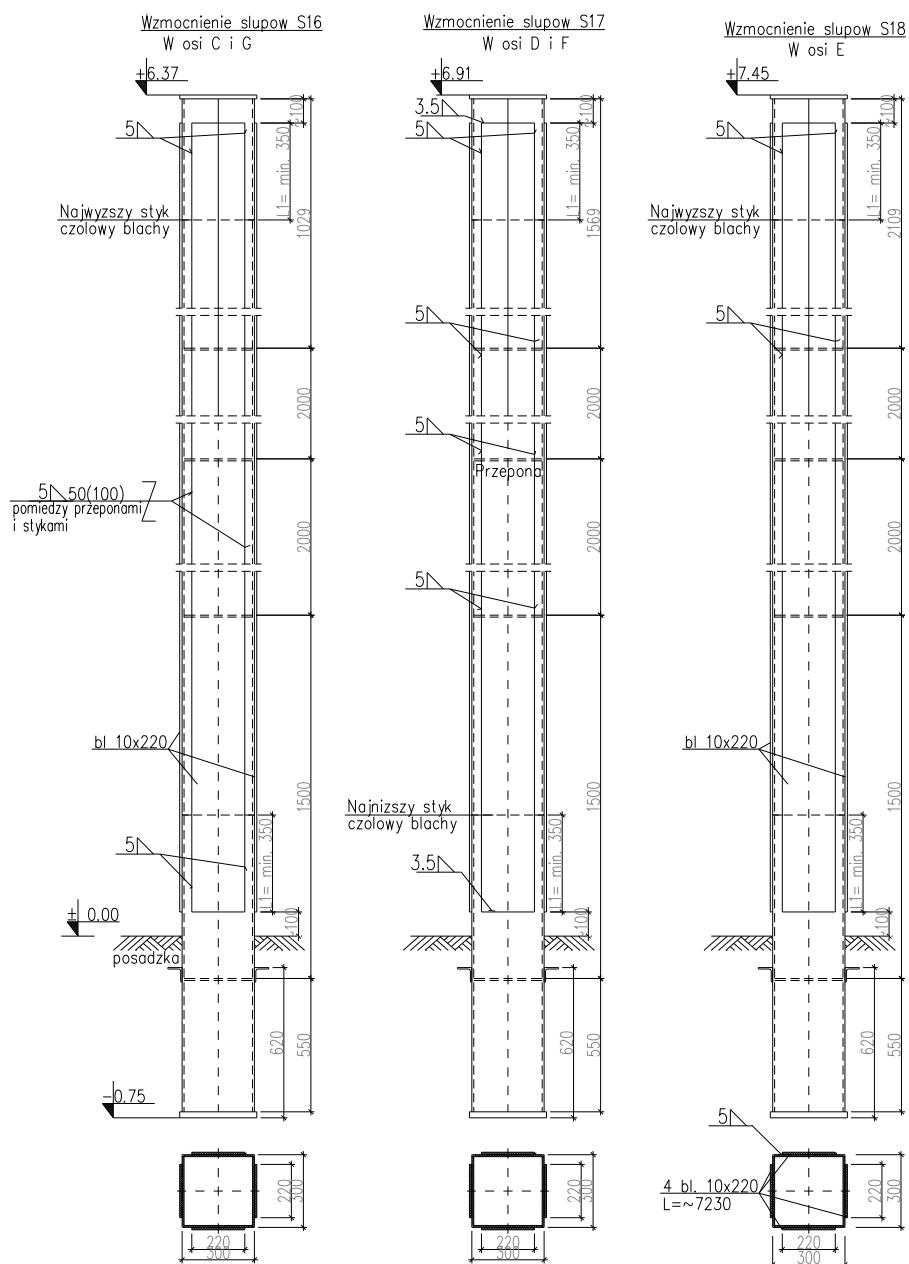
Rys. 6. Widoczny brak wtopienia w powierzchnię blachy. Rys. 7. Pęknięcie połączenia spoiny z przeponą.



Rys. 8. Złącze blach słupa F7 w miejscu przewiązki.

3. Sposób wzmocnienia omawianych słupów.

Wykryte wady zagrażały bezpieczeństwu konstrukcji i w razie ich nie usunięcia mogłyby spowodować katastrofę budowlaną podczas intensywnych opadów śniegu. Aby doprowadzić obiekt do stanu bezpiecznego użytkowania opracowano zalecenia wzmocnień słupów (rys. 9). Biorąc pod uwagę względy estetyczne, w porozumieniu z właścicielem obiektu, zalecono naprawę poprzez naspawanie ciągłych blach o przekroju równoważnym przekrojowi słupa. Metoda ta eliminowała konieczność sprawdzania wszystkich spoin poprzecznych w blachach trzonu słupa. W trakcie opracowywania harmonogramu napraw i oszacowaniu możliwości dokonania wszystkich prac w przyjętym okresie, zdecydowano, w porozumieniu z właścicielem obiektu i na prośbę wykonawcy wzmocnień, o zastąpieniu ciągłych blach, odcinkowymi nakładkami spawanymi o wymaganej nośności (m.in. z uwagi na długość spoin pachwinowych – pionowych) w miejscach wykrytych spoin poprzecznych.



Rys. 9. Koncepcja wzmocnienia trzonów słupów.

Ostateczne podejście do wzmocnienia wszystkich wewnętrznych słupów hali wynikało z faktu, że w trakcie wykonywania opisywanych wzmocnień dokonano badań defektoskopowych i stwierdzono, że 95% wszystkich wewnętrznych słupów głównych wykazuje wady spoin. Wobec tego zalecono wzmocnienie wszystkich słupów omawianego obiektu. Naprawa była realizowana sukcesywnie tzn. naprawiany był jeden słup w osi blachownicy i jedno pęknięcie w danym słupie. Dopiero po zakończeniu naprawy jednego uszkodzenia w danym słupie i spadku temperatury w miejscu naprawy do temperatury otoczenia, przystępowano do usunięcia kolejnej błędnej spoiny.

4. Uwagi końcowe i wnioski

1. U podstaw awarii leżał brak kontroli podczas wykonywania konstrukcji w wytwórni oraz niewłaściwie prowadzone odbiory częściowe i końcowe robót na placu budowy.
2. W zastanym stanie, przy normatywnym obciążeniu śniegiem w pierwszej strefie, słupy opisanej hali nie miały wystarczającej nośności do przeniesienia wszystkich obciążeń co w połączeniu z innymi wykrytymi błędami mogło doprowadzić do katastrofy budowlanej.
3. Obiekt jest halą wybudowaną przed siedmioma laty. Jak wynika z rozmów z inwestorem w czasie całego tego okresu dach hali w okresie zimowym był odśnieżany, co uchroniło obiekt przed awarią lub nawet katastrofą.
4. Inne elementy omawianej hali miały również wady. Wykryto błędy połączeń śrubowych, zbyt duże ugięcia płatwi i niewłaściwe ich oparcie na blachownicach. Nieprawidłowo zrealizowano oparcie blachownicy na słupie – obciążenia na słup nie były przekazywane osiowo.
5. Jest to obiekt handlowy, w którym jednorazowo przebywa kilkaset osób, pomimo to w trakcie corocznych przeglądów nie stwierdzono opisanych błędów i nieprawidłowości. Wynika z tego, że obiekty wielko-powierzchniowe powinny zostać objęte innym, dokładniejszym sposobem przeglądów technicznych połączonych z dodatkową analizą statyczną w wypadku stwierdzenia odstępstw od założeń projektowych, ujawnienia wad, deformacji, uszkodzeń, itp.

Literatura

1. M. Łubiński, W. Żółtowski: Konstrukcje metalowe cz. II. Arkady, Warszawa 2004.
2. B. Gosowski, E. Kubica: Badania laboratoryjne z konstrukcji metalowych. Oficyna Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2001.
3. K. Rykaluk: Pęknięcia w konstrukcjach stalowych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 1999.
4. J. Ziółko: Utrzymanie i modernizacja konstrukcji stalowych. Arkady. Warszawa 1999.
5. PN-80/B-02010 - Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem.
6. PN-80/B-02010/Az1 – załącznik do w/w normy.
7. PN-90/B-03200 - Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
8. S. Wierzbicki, M. Cwyl, J. Witkowski: „Opinia stanu technicznego słupów, obiektu handlowego.....” IKB, Warszawa 2006.