



STAN AWARYJNY STREF PODPOROWYCH BLACHOWNICOWYCH DŹWIGARÓW DACHOWYCH HALI I SPOSÓB ICH NAPRAWY

BERNARD WICHTOWSKI, *marekw@zut.edu.pl*
Projektowanie i Ekspertyzy Budowlane, Szczecin

MIROSŁAW SOMM
Szczecin

Streszczenie: Omówiono stan awaryjny stref podporowych stalowych dźwigarów dachowych hali przemysłowej wywołany korozją. Zinventaryzowano stopień zniszczeń korozyjnych konstrukcji i wyjaśniono przyczyny występowania korozji warstwowej. Opisano projekt wzmocnienia podpór dźwigarów dachowych i podano wnioski końcowe.

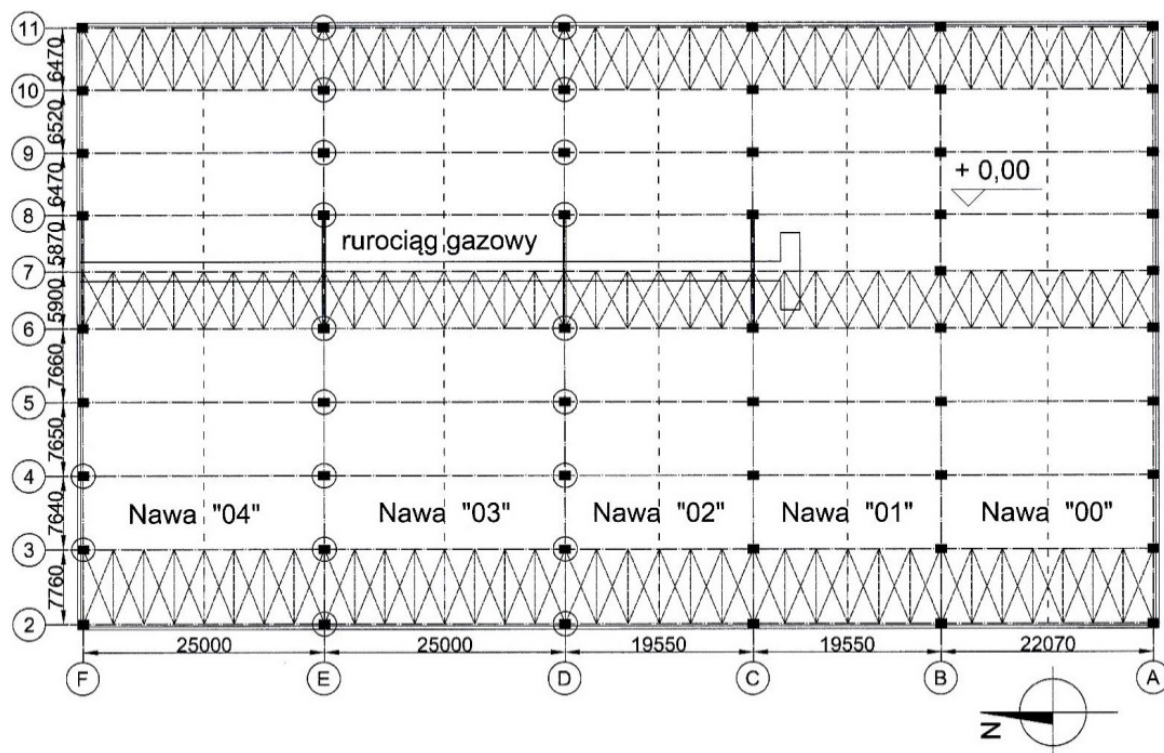
Słowa kluczowe: stan awaryjny, hala przemysłowa, dźwigar dachowy, dźwigar blachownicowy, korozja warstwowa.

1. Opis konstrukcji hali

Przedmiotowa hala to obiekt parterowy pięcionawowy o zróżnicowanych nietypowych rozpiętościach naw od 19,55 do 22,07 m. Łączna długość hali wynosi 111,17 m, a jej szerokość 61,94 m. Hala wybudowana na początku XX wieku, została poddana kapitalnemu remontowi w latach 1975–1978. Założono nowe stalowe zadaszenie i obudowę ścian opartą na słupach stalowych. Wymieniono istniejące słupy na nowe stalowe skrzynkowe o przekroju poprzecznym 0,56×0,42 m.

Konstrukcja nośna dachu, w poziomie +11,80 m, opiera się na słupach stalowych usytuowanych w węzłach siatki prostokątnej utworzonej przez osie opisane literami i liczbami – rys. 1. Rozstaw osi oznaczonych liczbami jest nieregularny i wynosi od 5,87 do 7,76 m. Nie ma słupów C7, D7, E7 i F7, gdyż na osi 7 umieszczono rurociąg instalacji odprowadzającej gazy produkcyjne. Dźwigary dachowe w tych węzłach opierają się na podciągach stalowych opartych na sąsiednich słupach osi 6 i 8 – rys. 2.

Stalowe dźwigary dachowe to spawane blachownice o pasach równoległych ze wzmocnieniem w obszarze węzła kalenicowego – rys. 3. Nachylenie połaci dachowej wynosi 1:5 (11,33°). Na dźwigarach dachowych usytuowane są stalowe płatwie ciągle z dwuteownika 140 w rozstawie poprzecznym co 1,0 m. Płatwie pomiędzy sobą połączone są prętami okrągłymi Ø16 mm, przenoszącymi obciążenia na węzły kalenicowe. Pokrycie dachu i obudowa ścian wykonana jest z płyt falistych włóknisto-cementowych EUROFAL o grubości 6 mm i wysokości fali 40 mm, których dane określa norma PN-EN 434:2005 (U). Odprowadzanie wody z płyt falistych odbywa się do koryt rynnowych żelbetowych o wymiarach zewnętrznych 0,75×0,56 m, które biegną w koszach między poszczególnymi nawami hali, w osiach słupów oznaczonych literami – (rys. 2 i 4).



Rys. 1. Rzut konstrukcji nośnej dachu hali (słupy w kółkach z naprawionymi głowicami)



Rys. 2. Oparcie dźwigara w osi D na słupach 6 i 8 oraz w osi 7 na podciągu



Rys. 3. Kalenicowa strefa dźwigara dachowego i podłużne stężenie pionowe

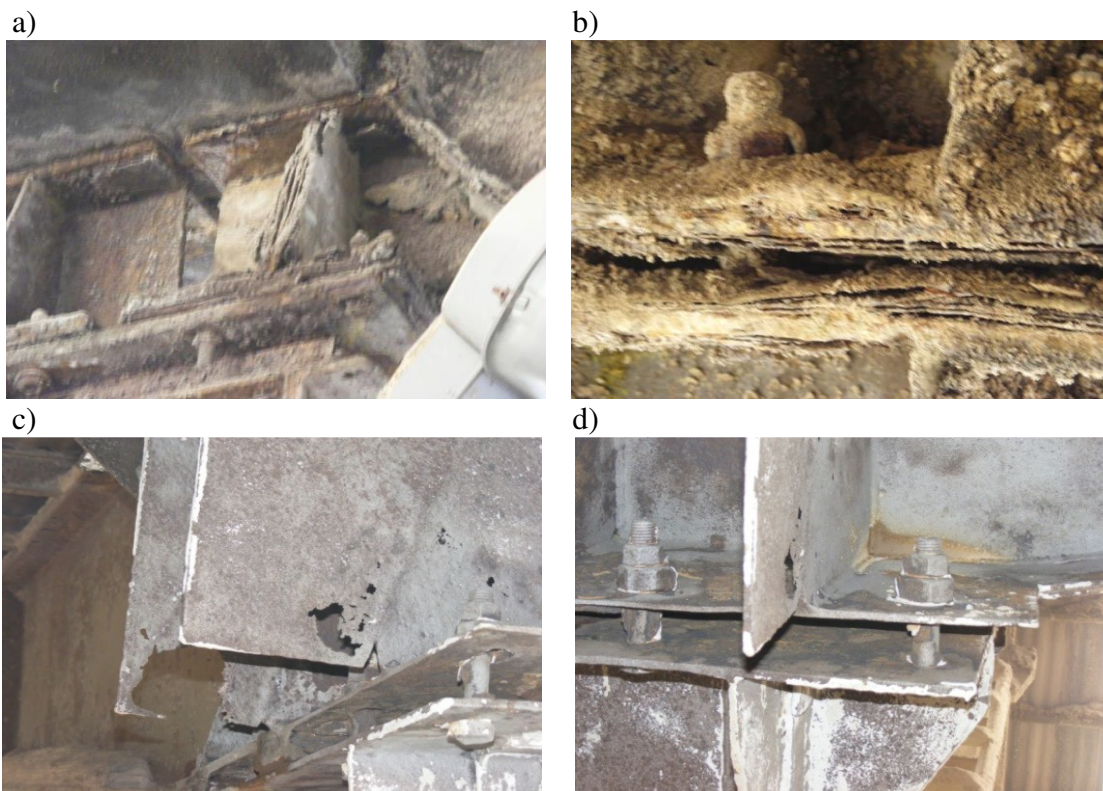


Rys. 4. Konstrukcja dachu hali

Stężenia poprzeczne wszystkich pięciu naw umieszczone są w polach skrajnych, w bezpośrednim sąsiedztwie ścian szczytowych oraz w polu między osiami 6 i 7. Rolę stężenia połaciowego podłużnego spełniają: kratownice pionowe założone w osiach kalenicowych dźwigarów dachowych (rys. 3), rynny żelbetowe usytuowane w osiach słupów podporowych dźwigarów (rys. 2 i 4) oraz oczepty przy głowicach słupów.

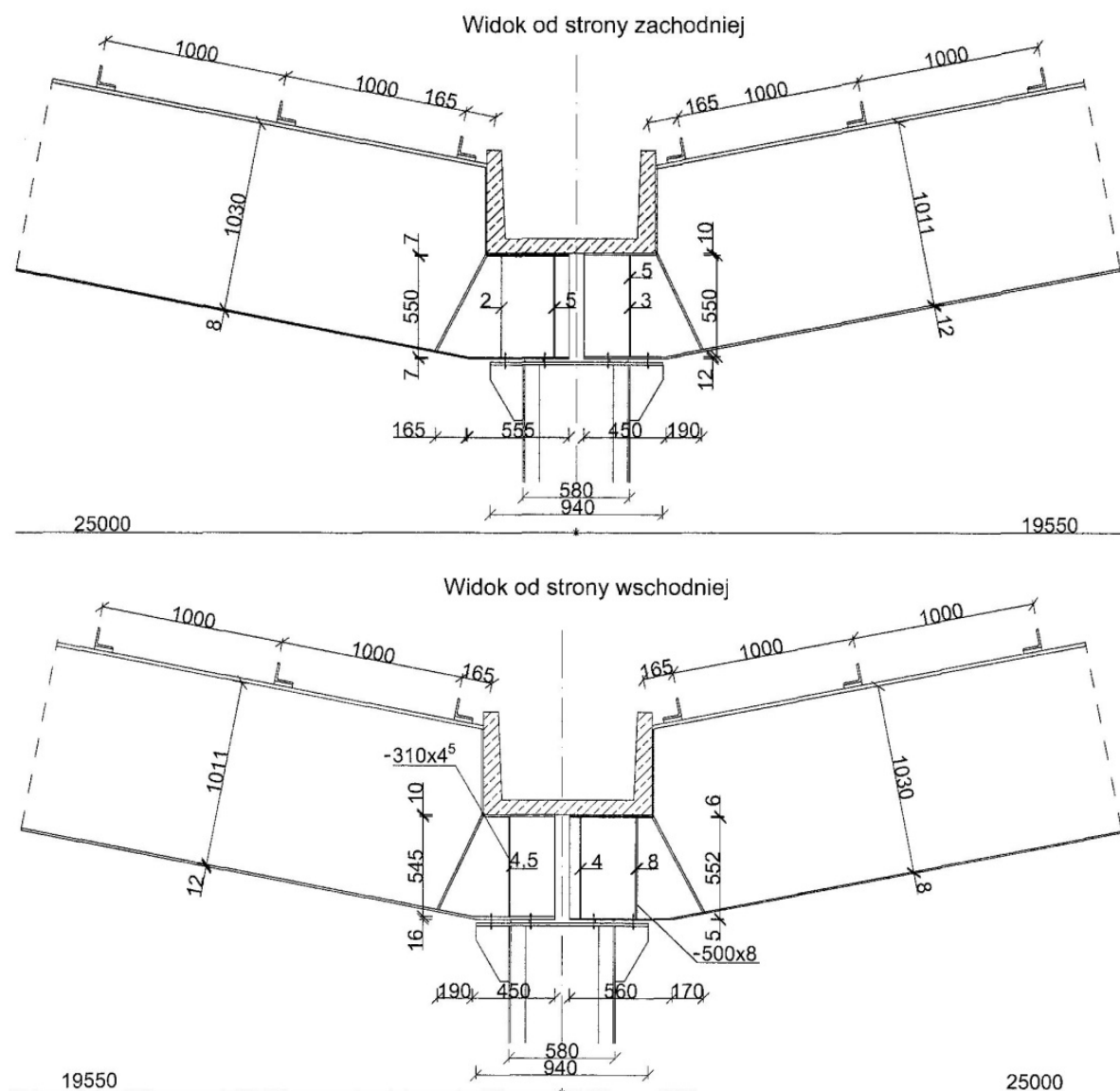
2. Stan techniczny podparcia rygli dachowych

Podczas rutynowych przeglądów stanu technicznego konstrukcji hali, służba techniczna użytkownika zaobserwowała duży stopień skorodowania stref podporowych dźwigarów nośnych przykrycia dachowego na słupach w osi D i E. Pomimo zalegającego na konstrukcji dużego zapylenia superfosfatem, zaobserwowano znaczną korozję warstwową (odwarstwienie) blach wiązarów dachowych hali oraz żeberk usztywniających środkiki.



Rys. 5. Skorodowane węzły podporowe rygli dachowych na słupach: a, b) – przed piaskowaniem, c, d) – po piaskowaniu

Stwierdzono również występowanie perforacji w środnikach dźwigarów i pionowych żebrach usztywniających. W skrajnych przypadkach, miejscowa korozja blach wyniosła około 80% przekroju brutto (rys. 5). Fakt ten potwierdziła inwentaryzacja elementów podporowych po wypiaskowaniu skorodowanych węzłów (rys. 6). Uwzględniając 50% ubytek przekroju środnika o wysokość 540 mm na podporze i maksymalną wartość siły obliczeniowej $P = 740$ kN, przypadającą na słup E3, naprężenia ścinające w środniku wynoszą $\tau = 137$ MPa i stanowią one aż 94% określonej z badań $(0,58 R_{eb}/\gamma_s)$, wytrzymałości obliczeniowej stali na ścinanie $\tau \approx (290/1,15) \times 0,58 = 146$ MPa. W pozostałych słupach wartość siły jest mniejsza i wynosi około $P = 580$ kN, tym niemniej uwzględniając aktualny stan techniczny i fakt postępującej korozji w czasie, ostatecznie postanowiono wzmocnić węzły podporowe ramownic na 20 słupach. Są to wszystkie słupy w osiach D i E (18 sztuk) i dwa słupy nr 3 i 4 w osi F (słupy w kółkach na rys. 1).



Rys. 6. Inwentaryzacja dźwigarów dachowych na słupie D 10

3. Analiza właściwości stali rygli dachowych i słupów

Autorzy referatu po raz pierwszy spotkali się z korozją warstwową. Celem częściowego wyjaśnienia tego zagadnienia przeprowadzono ocenę właściwości chemicznej i mechanicznej stali elementów konstrukcyjnych hali. Spektrometryczna analiza chemiczna stali, wyciętych próbek ze środka rygla i słupa, wykazała skład chemiczny podany w tabeli 1. W tabeli tej w celu porównania podano skład chemiczny stali niestopowej konstrukcyjnej ogólnego przeznaczenia gatunku St3S i St3SY według PN-88/H-84020. Z porównania składu chemicznego poszczególnych gatunków stali wynika, że konstrukcja hali została wykonana ze stali półspokojonej gatunku St3SY.

Tabela 1. Skład chemiczny badanej stali i stali St3S oraz St3SY

Rodzaj stali	Skład chemiczny [%]								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al.
Rygiel	0,189	0,559	0,044	100 ppm	0,025	0,029	0,010	0,030	19 ppm
Słup	0,159	0,573	0,023	0,012	0,034	88 ppm	0,011	0,030	17 ppm
St3S	max	max	0,10- 0,35	max 0,05	max 0,05	max 0,30	max 0,30	max 0,30	max 0,02
St3SY	0,22	1,10	max 0,15						

Właściwości mechaniczne i plastyczne stali hali określono na podstawie badań twardości HB metodą Brinella, zgodnie z normą PN-EN ISO 6506-4: 2002. Określenie twardości w pięciu punktach pomiarowych każdej próbki, wykonano twardościomierzem typu B3Cs w tzw. warunkach standardowych, używając kulki stalowej średnicy $D = 5$ mm, przy obciążeniu $P = 7355$ N utrzymywanym przez $t = 15$ s. Według określonej średniej wartości HB oszacowano wartość charakterystyczną R_{mB} , a po przyjęciu wartości a , w zależności od zawartości węgla w stali, obliczono granice plastyczności R_{eB} o wartości 290 i 285 MPa. Jak wynika z kol. 9, tabeli 2, obliczone wartości charakterystyczne R_{eB} są średnio około 22% większe od normowej wartości $R_e = 235$ MPa, według PN-90/B-03200 [4].

Tabela 2. Właściwości materiałowe stali dźwigara i słupa

Rodzaj stali	Twardość Brinella				PN/H-84020		R_m/R_{mB}	R_e/R_{eB}
	HB	R_{mB} [MPa]	a	R_{eB} [MPa]	R_m [MPa]	R_e [MPa]		
Rygiel	139	466	0,63	290	średn. 425	235	0,91	0,81
Słup	131	438	0,65	285			0,97	0,82

Określona stal hali gatunku St3SY ma mikrostrukturę ferrytyczno-perlityczną, której kierunkowość własności omówił Blicharski w [1], „Bardzo często w stali tej ferryt i perlit grupują się w pasma równoległe do kierunku walcowania i położone na przemian. Tworzenie mikrostruktury pasmowej jest spowodowane segregacją międzydendrytyczną Mn podczas krzepnięcia stali, z tej przyczyny skłonność do tworzenia takiej mikrostruktury rośnie ze wzrostem zawartości Mn w stali”. Pasmowość niezbyt mocno wpływa na własności stali, z wyjątkiem własności w kierunku prostopadłym do pasm (kierunku normalnym).

Według Wranglen’a [2], poszczególne pasma wykazują także różne potencjały elektrodo-we. „Ogniwa lokalne na granicach ziaren mają decydujące znaczenie dla zapoczątkowania

korozji międzykrystalicznej. Przykładem korozji powodowanej niejednorodnością składu tej samej fazy materiału jest korozja warstwowa (odwarstwienie)”, która dotyczy blach w węzłach podporowych przedstawionych na rys. 5. Często korozja ta ma charakter międzykrystaliczny i zachodzi z powstawaniem pęcherzy powodujących pęknięcia warstw powierzchniowych jako skutek tworzenia się objętościowych produktów korozji. Jak wynika z analizy rys. 5a i 5b taki rodzaj korozji wystąpił w blachach strefy podporowej blachownic dachowych przedmiotowej hali.

4. Wzmocnienie węzłów podporowych dźwigarów

Stwierdzony stan techniczny oparcia dźwigarów dachowych na dwudziestu słupach, słupy w kółkach na rys. 1, potraktowano jako przedawaryjny, wymagający interwencji oraz wzmocnienia konstrukcji oparcia dźwigarów.

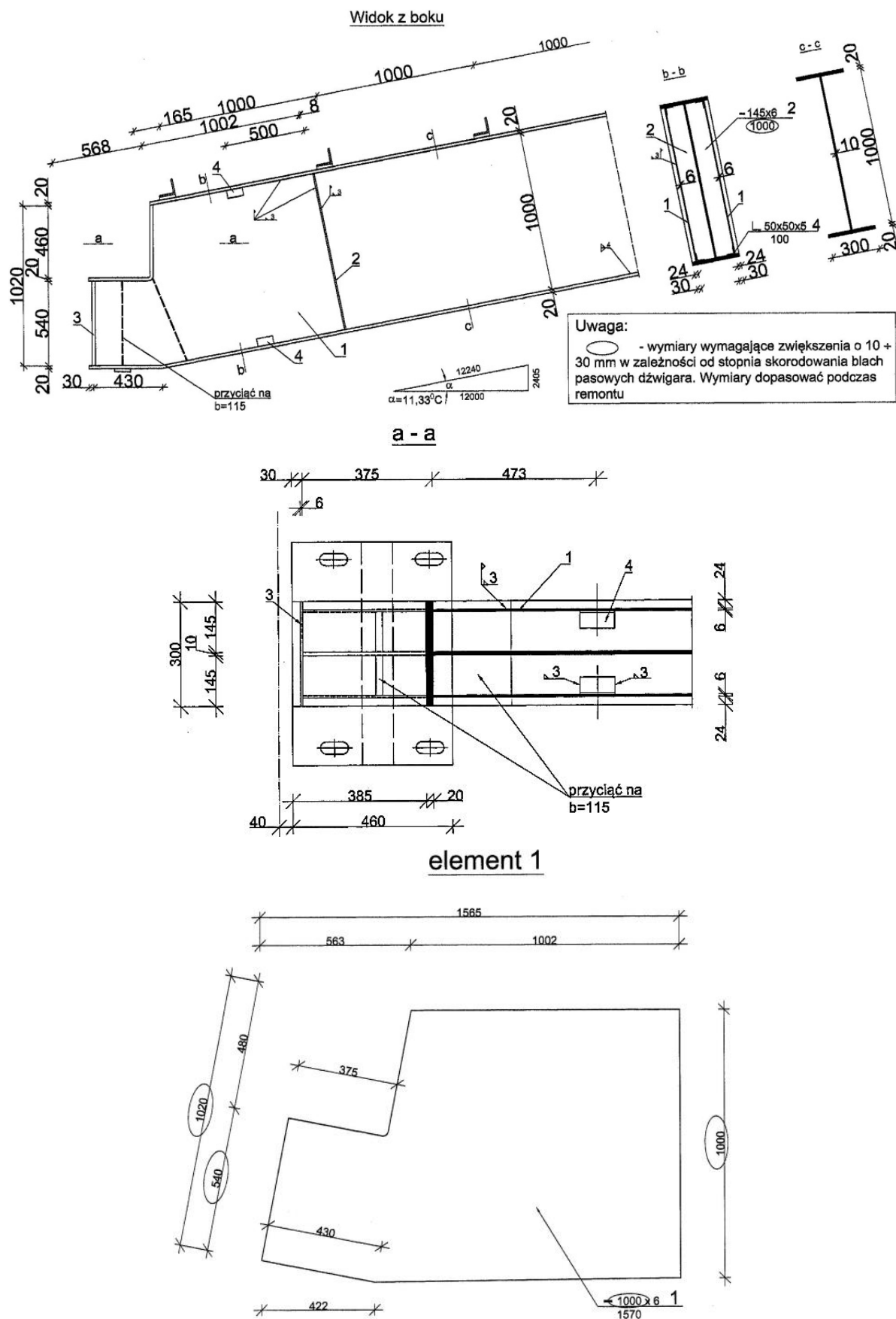
Uwzględniając fakt, że:

- usytuowanie skorodowanych podpór dźwigarów dachowych hali znajduje się na głowicach słupów w poziomie około + 12,0 m,
 - wartość reakcji od pojedynczego dźwigara wynosi od 300 do 370 kN,
 - wzmocnienie należy przeprowadzić podczas eksploatacji obiektu,
- postanowiono zastosować rozwiązanie specjalne, czyli tzw. „wzmocnienie pośrednie” według L. Spala [3], do grupy tej zaliczamy takie rodzaje przebudowy, przy których dla spełnienia wymagań eksploatacyjnych dołączone są nowe elementy do istniejących elementów konstrukcji lub nowe konstrukcje do istniejących konstrukcji. Istniejące elementy konstrukcji nie są przy tym zmieniane ani naruszane, a przez połączenie części pierwotnych i nowych nie następuje zmiana schematu statycznego konstrukcji. Taki sposób wzmocnienia 38 oparć nośnych dźwigarów dachowych na 20 słupach, zastosowano w przedmiotowej hali, zgodnie z rys. 7.

Wzmocnienie wykonano poprzez założenia dwustronnych dodatkowych środników na końcowych, podporowych odcinkach skorodowanych blachownic dźwigarów dachowych. Są to elementy nr 1 na rys. 7. Odcinki te wykonane z blachy grubości 6 mm i długości 1,57 m zostały wspawane, pomiędzy skorodowane pasy wzmacnianych dźwigarów, jednostronnymi spoinami pachwinowymi grubości $a = 3$ mm (patrz przekroje „a-a” i „b-b”). Nowe odcinki środników założono na głębokość 30 mm od skrajnej krawędzi pasów. Takie usytuowanie wymusiło odpowiednie przycięcie żeberek usztywniających oraz wspawanie czterech oporowych (montażowych) kątowników 50×50×5 mm o długości 100 mm, są to elementy nr 4. W ostatecznym etapie wykonaną skrzynkę wzmacniającą zamknięto skrajnymi żeberkami pionowymi nr 2 i 3.

5. Podsumowanie

Na odcinku skrajnym hali, w nawach nr 03 i 04, magazynowane były fosforyty wykorzystywane przy produkcji nawozów organicznych. W okresie zimowym opary z wysychających fosforytów prawdopodobnie skraplały się na najzimniejszym, podporowym odcinku dachowej rynny żelbetowej o wymiarach zewnętrznych 0,75×0,56 m (patrz rys. 6). Zawilgocenia te zatrzymywały się na grubej warstwie pyłów superfosfatowych i były powodem zwiększonej korozji stref podporowych na słupach w osi D i E.



Rys. 7. Konstrukcja wzmacniająca podporę dźwigara dachowego

Dodatkowym czynnikiem wzmożonej korozji stref podporowych blachownicowych rygli dachowych jest wykonanie konstrukcji obiektu ze stali gatunku St3SY o tendencjach do korozji warstwowej. W skrajnych przypadkach występowało sześciowarstwowe rozwarstwienie blach.

Przedstawiony w referacie przypadek wzmożonej korozji miejscowej wywołanej agresywnością środowiska potwierdza słuszność zaleceń literaturowych o częstym usuwaniu pyłów produkcyjnych z elementów konstrukcyjnych i prowadzeniu dokładnych przeglądów stanu technicznego związanego z korozją [5].

Literatura

1. Blicharski M. Inżynieria materiałowa. Stal, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.
2. Wranglen G. Podstawy korozji i ochrony metali, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1985.
3. Spal L. Przebudowa konstrukcji stalowych, Arkady, Warszawa 1973.
4. Wichtowski B., Hołowaty J. Badania udarnościowe stali zlewnej mostów kolejowych. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 1/2014.
5. Augustyn J., Śledziwski E. Awarie konstrukcji stalowych, Arkady, Warszawa 1976.

THE EMERGENCY STATE OF ZONES OF SUPPORTING ROOF SOLID-WEB GIRDERS OF THE HALL AND THE REPAIR METHOD

Abstract: It was discussed the emergency state caused by corrosion concerning zones of supporting roof steel girders of the industrial hall. The degree of the structure corrosion damage was inventoried and causes of layer corrosion have been explained. The project of strengthening the supports of roof girders was described and the final conclusions have been given.

Keywords: emergency condition, hall industrial, roof beam, solid-web girder, layer corrosion.