



Mgr inż. Tomasz BORSZ, *t.borsz@bbr.pl*
BBR Polska Sp. z o.o.

WZMACNIANIE RYGLI KONSTRUKCJI ŻELBETOWEJ DACHU NA TERENIE HALI MAN-STAR STARACHOWICE PRZY POMOCY MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH I CIĘGNOWYCH KONSTRUKCJI ODCIĄŻAJĄCYCH

STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE ROOF GIRDERS WITHIN THE MAN-STAR PRODUCTION PLANT IN STARACHOWICE (POLAND) WITH COMPOSITES AND TENDONS UNLOADING STRUCTURES

Streszczenie Firma MAN STAR Trucks & Buses Sp. z o.o., w związku z ciągłą modernizacją i rozbudową zakładu, zleciła przeprowadzenie naprawy konstrukcji wsporczej dachu hali nr 9. W związku z bardzo niedbałym wykonaniem, jak i obciążaniem w niedopuszczalny sposób podczas 30-letniego użytkowania, stan żelbetowej konstrukcja rygli ram i dźwigarów dachowych można było uznać za awaryjny. Wskazywały na to liczne zarysowania i pęknięcia z przemieszczeniem (dla bezpieczeństwa rygle podparto tymczasowo). Wzmocnieniu poddano 12 czteroprzęsłowych rygli ram, z czego trzy rygle ze złamaniem w przęśle środkowym. Naprawę wykonano z zastosowaniem taśm kompozytowych na bazie żywic epoksydowych z włóknami węglowymi, mat z włókien węglowych, stalowych wzmocnień lokalnych zespolonych z rygłem prętami sprężającymi oraz, w przypadku rygli złamanych, cięgnowej konstrukcji odciażającej złożonej z przęsłowych i podporowych konstrukcji dewiatorowych, bloków oporowych oraz cięgien sprężających systemu BBR CC.

Abstract MAN STAR Trucks & Buses Ltd., in connection with constant modernization and development of the production plant, ordered a repair works of roof girders in the workshop no 9. Due to badly done previous works and to overload in the past 30 years, the technical state of the reinforced concrete girders can be assessed as close to break down. It was judged due to observed scratches and cracks with displacement (temporarily supported). Strengthening works were done for 12 four-spans girders, 3 of which had a crack with displacement in the middle span. Repair works were done with composite bands based on resin with carbon fibre, carbon fibre mats, local special steel stirrups connected to the girders with stressing bars and on cracked girders special tendons unloading structures including span and support deviators, anchorage blocks and prestressing tendons BBR CC.

1. Opis ogólny

Pozostałe po dawnych zakładach STAR-a hale są sukcesywnie naprawiane, modernizowane i adaptowane przez nowego właściciela, którym jest firma MAN STAR Trucks & Buses Sp. z o.o. Hala nr 9 mieści się w zachodniej części zakładu w Starachowicach, przy ul. 1 Maja 12. Część obiektu, do osi 12, zmodernizowano wcześniej i oddano do użytku w roku 2006. Prace w obszarze osi 12-21 zostaną zakończone do końca czerwca 2007r. Ze względu na ciągłą zmianę sposobu zagospodarowania hali zdecydowano się na jej uniwersalne wyposażenie. W związku z niedbałym wykonaniem, jak i

niedozwolonym użytkowaniem, hala została wyłączona z użytkowania ze względu na zły stan techniczny żelbetowej konstrukcji rygli. Projekt budowlany naprawy bazował na ekspertyzie konstrukcyjnej biura projektowego ANKRA. Dokumentację wykonawczą wzmocnienia przy pomocy materiałów kompozytowych jak i cięgnowej konstrukcji odciążającej wykonało biuro projektowe UNITRA-UNIPRO przy pomocy BBR Polska jako firmy specjalistycznej z dziedziny technologii sprężalniczych i wzmocnieńowych.



Rys. 1. Obraz ogólny konstrukcji nośnej dachu przed remontem, spękania, uszkodzenia, liczne zarysowania

2. Opis uszkodzeń

Podczas prowadzenia prac związanych z przygotowaniem powierzchni zinwentaryzowano ponad 500 mb rys o rozwarciu powyżej 0.3 mm.

Trzy przęsła ryglowe zostały złamane podczas niewłaściwego użytkowania (montaż wciągarki w celach rozładunkowych). Użytkownik podparł je dodatkowo ze względów bezpieczeństwa.

W okolicach stref podporowych dźwigarów dachowych na ryglu ramy występowały liczne przeciążenia strefy docisku na betonie rygla, widoczne na podstawie lokalnych zmiażdżeń betonu jak i skręceń dźwigarów w strefach podporowych (podparcia krawędziowe).

W związku z planowanym użytkowaniem hali zaistniała konieczność naprawy konstrukcji wsporczej dachu. W jej ramach przewidziano naprawę rygli celem przywrócenia ich pierwotnej sprawności technicznej oraz usunięcia dodatkowych podparć.



Rys. 2. Złamania rygla B/13-17 i F/17-21 w obszarze przęsłowym



Rys. 3. Brak odpowiedniej strefy docisku podczas aplikacji obciążenia z dźwigara dachowego na rygiel

3. Przygotowania do realizacji - projektowanie

Przed przystąpieniem do realizacji została wykonana inwentaryzacja istniejącego zbrojenia miękkiego w strefach przęsłowych i podporowych wybranych rygli. Wykonano badania wytrzymałościowe betonu na ściskanie (zgniatanie pobranych próbek rdzeniowych oraz metodami sklerometrycznymi), badania wytrzymałości na odrywanie metodą „PULL-OFF”, ocenę głębokości karbonatyzacji betonu (przy pomocy indykatorów), badania chemiczne betonu (oznaczenie procentowej zawartości siarczanów, chlorków i azotanów).

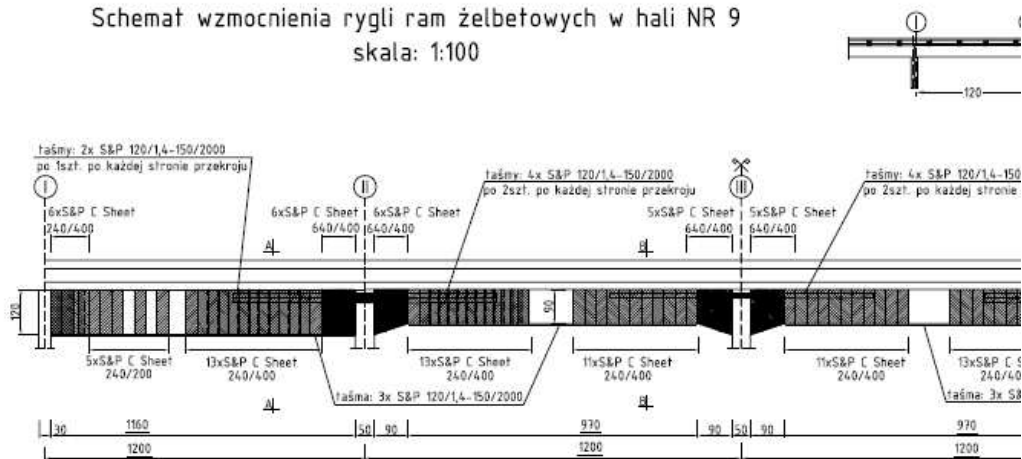


Rys. 4. Inwentaryzacja zbrojenia

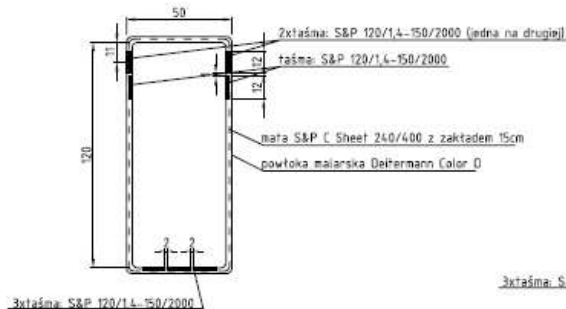
Na podstawie ww. inwentaryzacji oraz zestawionych obciążeń zaprojektowano wzmocnienie konstrukcji rygli przy pomocy taśm z włókien węglowych S&P 120/1.4-150/2000 (zbrojenie główne zewnętrzne stref podporowych i przęsłowych) oraz mat z włókien węglowych S&P C Scheet 640/400;240/400 (zbrojenie zewnętrzne stref podporowych na ścinanie).

W przypadku złamanych rygli 13-17/B, 17-21/B oraz 17-21/F zdecydowano się na wzmocnienie materiałami kompozytowymi oraz odciążenie i uciążlenie rygla poprzez konstrukcje ciągnową (6 ciągien BBR CCex106 - $150\text{mm}^2/1860\text{ MPa}$). Przyłożenie obciążenia z ciągien na rygiel żelbetowy zaprojektowano poprzez stalowe dewiatory przęsłowe i podporowe. Zakotwienia ciągien przewidziano jako grupowy blok oporowy kotwiony do konstrukcji za pomocą prętów sprężających Macalloy 1030 – M25.

Schemat wzmocnienia rygli ram żelbetowych w hali NR 9
skala: 1:100



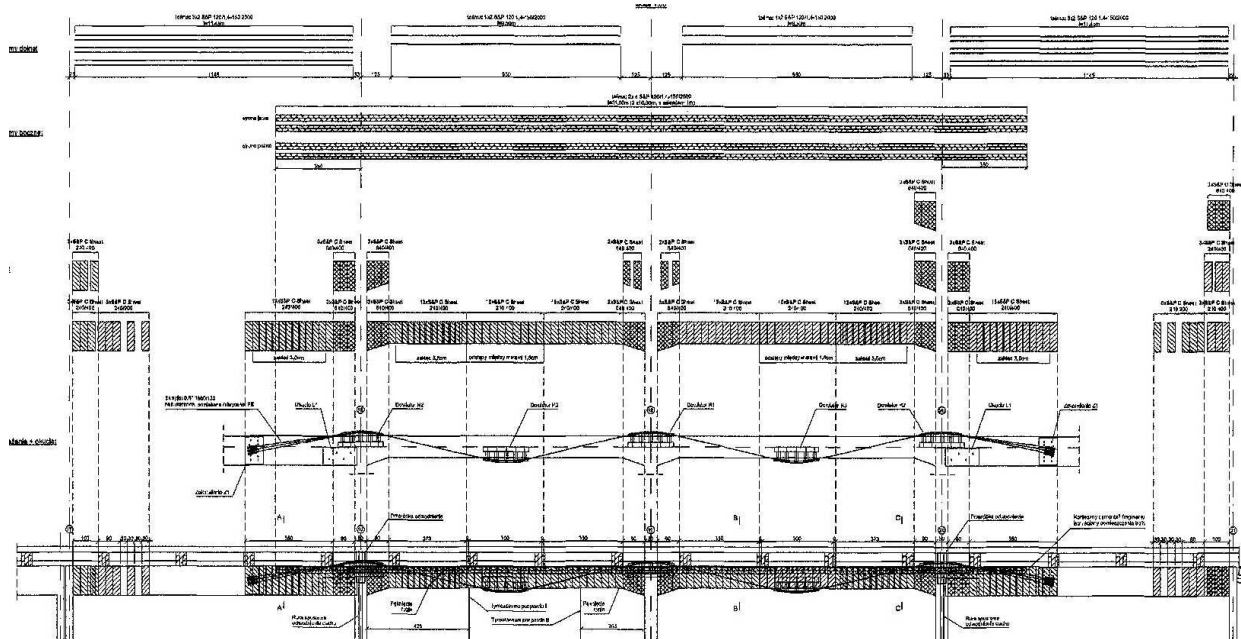
Przekrój A-A wzmocnienia
rygla ramy żelbetowej
skala: 1:20



Przekrój B-B wzmocnienia
rygla ramy żelbetowej
skala: 1:20



Rys. 5. Wzmocnienie stref przęsłowych i podporowych rygli ram zarysowanych



Rys. 6. Wzmocnienie stref przęsłowych i podporowych oraz konstrukcja ciągnowa rygli ram złamanych

Dodatkowo, prócz wzmocnienia materiałami kompozytowymi, przewidziano zwiększenie nośności na ścinanie poprzez zespolone płaskowniki stalowe w strefach podpór przedskrajnych. Przed przystąpieniem do aplikacji materiałów kompozytowych zaprojektowano tymczasowe podparcia w miejscach bliskich złamaniom (wskazanych przez Projektanta) oraz wymuszenie na nich obciążenia odpowiadającego reakcji dla schematu statycznego nieciągniętego (300 – 400 kN). Następnie przewidziano aplikacje materiałów kompozytowych, montaż konstrukcji ciągnowej, naciąg cięgien, demontaż podparć tymczasowych, uzupełnienie brakujących materiałów kompozytowych w miejscu zdemontowanych podparć.

4. Przygotowania do aplikacji materiałów kompozytowych

Przed przystąpieniem do realizacji wykonano szereg prac przygotowawczo-zabezpieczających związanych z istniejącymi instalacjami (prąd, c.o., woda, sprężone powietrze, wentylacja).

Przy prowadzeniu prac czyszczących zdecydowano się na zastosowanie dwóch metod czyszczenia: metoda przy użyciu myjki wysokociśnieniowej oraz piaskowanie w osłonie wodnej (płaszczu wodnym). Metodę dobierano w zależności od warunków lokalnych: odporności otoczenia na zawilgocenie lub zapylenie.

Przed przystąpieniem do wypełnienia ubytków odkurzono powierzchnię rygli. Wykonano inwentaryzację zarysowań, które Projektant ocenił jako wymagające naprawy (zamknięcia). Warunkiem brzegowym było rozwarcie $\geq 0.3\text{mm}$.

Iniekcja rysy polegała na jej inwentaryzacji; nacięciu wzdłużnym; nawierceniu otworów przecinających; dozbrojeniu stałą miękką; przedmuchaniu sprężonym powietrzem; odkurzeniu; zamknięciu nacięcia materiałem polimerowym celem hermetyzacji; montażu zaworów odpowietrzających i tłocznych u wlotu nawierconych otworów; odkręceniu odpowietrzeń; montażu aparatury iniekcyjnej do zaworu tłoczego; iniekcji ciśnieniowej (do wypłynięcia żywicy iniekcyjnej na odpowietrniku); zamknięciu odpowietrzenia; doiniektowaniu; demontażu aparatury z zamknięciem zaworu tłoczego; po uzyskaniu wytrzymałości demontażu zaworów i wypełnieniu ubytków.

W związku ze złym stanem powierzchni rygli (niedokładność szalowania, ugięcia pręseł, nadlewki betonowe) wykonano odpowiednie zabiegi szlifierskie i wypełniające celem doprowadzenia ich płaszczyzn do równości wymaganej tolerancją aplikacyjną materiałów kompozytowych (unikano wklęsłości – dopuszczalna odchyłka wykonawcza wynosiła 5mm/2m). Aplikacja mat węglowych wymagała wyoblenia wszystkich krawędzi promieniem 1,5-2cm.



Rys. 7. Obraz zarysowań po wykonaniu iniekcji

W związku z brakiem zapewnienia odpowiedniego docisku strefy podporowej dźwigarów dachowych, wykonano zastrzyki z zapraw mineralnych, celem przejścia obciążeń zmiennych przez „poduszkę” podporową.

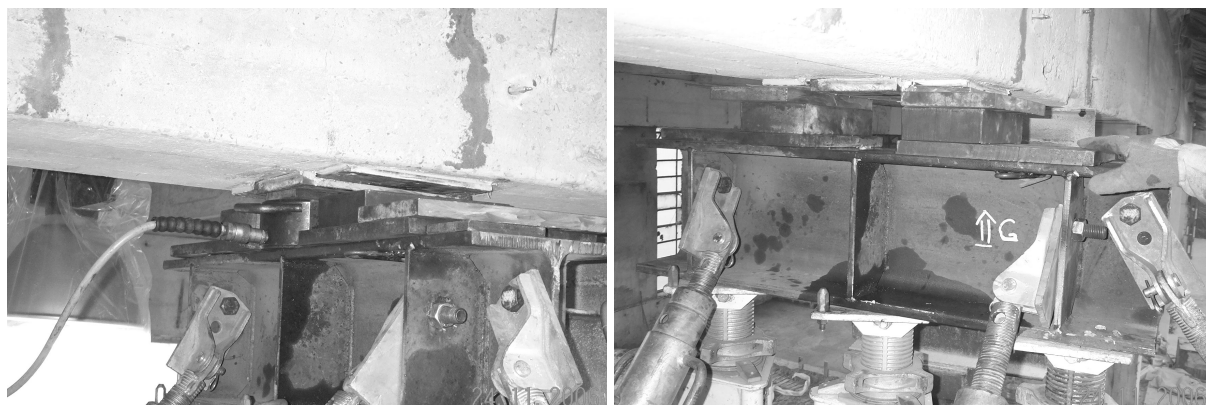
Każdej fazie aplikacji materiałów kompozytowych towarzyszyły badania kontrolne niezbędne dla prawidłowego wykonania prac: pomiar wilgotności podłoża; pomiar wilgotności powietrza; pomiar temperatury podłoża; pomiar temperatury powietrza; pomiar wytrzymałości podłoża na odrywanie; pomiar wytrzymałości kleju na odrywanie.

5. Montaż podparć tymczasowych i wyparcie

Podparcia tymczasowe wykonano ze względu na konieczność usunięcia istniejącego dodatkowego podparcia w miejscach kolizyjnych z materiałami kompozytowymi jak i ze względu na wyparcie projektowanym obciążeniem (superpozycja sił wewnętrznych przy różnych schematach statycznych). Aplikacje wymuszonego obciążenia wykonano przy pomocy siłowników hydraulicznych.



Rys. 8. Montaż podparcia tymczasowego rygla przęsla 18-19F



Rys. 9. Strefa głowicy podparcia – instalacja siłownika

6. Aplikacja taśm węglowych S&P Lamelle 120/1.4 150/2000 oraz mat S&P C Scheet 240/200, 240/400, 640/400

Przed rozpoczęciem aplikacji taśm węglowych pomierzono równość podłoża celem ewentualnej korekty poprzez szpachlowanie. Naniesienie kleju na taśmę wykonywano poprzez dozownik o profilu daszkowym, od 2-7mm w zależności od nierówności. Aplikacja następowała poprzez przeciągnięcie taśmy przez dozownik.



Rys. 10. Aplikacja żywicy na taśmę i taśmy na belkę

Po przyklejeniu taśm wykonano szpachlowanie pod maty przy pomocy szpachli polimerowej z mieszaniny żywicy RESIN 220 oraz piasku kwarcowego, celem wyrównania powierzchni wytworzonej przez taśmy. Wszystkie wyoblenia krawędziowe należało wyprofilować możliwie równo celem uniknięcia lokalnych nierówności, wgniecień, itp. Bardzo ważne było kształtowanie szpachli z tendencją wypukłą (unikanie wklęsłości).

Aplikacja mat polega na wykonaniu następujących czynności:

- prefabrykacja odpowiedniej długości maty zgodnie z dokumentacją techniczną
- przygotowanie żywicy RESIN 55 do użycia (mieszanie składników)
- przemalowanie powierzchni żywicą na którą miała być naniesiona mata (warstwa kontaktowa) oraz jej dojrzewanie do odpowiedniej lepkości aplikacyjnej
- naniesienie wałkiem warstwy żywicy na tkaninę (matę)
- naniesienie maty na przygotowaną powierzchnię
- wałkowanie celem usunięcia pęcherzy powietrza jak i równomiernego rozłożenia tkaniny (mata powinna zostać w całości zatopiona w żywicy)



Rys. 11. Aplikacja żywicy RESIN 55 bezpośrednio na tkaninę i wałkowanie na belce

7. Montaż ciągnowej konstrukcji odciążającej oraz elementów zakotwień i okuc

System ciągnowej konstrukcji odciążającej bazującej na systemie BBR CC ex 106 to:
Zakotwienie – stalowa konstrukcja zakotwienia mocowana do belki poprzez doprężenie prętami sprężającymi Macalloy M25,

Dewiator - stalowa konstrukcja przęsłowa (lub podporowa) o wykształconej krzywiznie kształtująca trasę cięgna sprężającego. Powoduje zwiększenie ramienia sił wewnętrznych oraz rozkłada obciążenie P/R (siła w cięgnię/promień krzywizny) na większą powierzchnię belki. Ze względów technologicznych mocowany dodatkowo blachami pachwinowymi na wklejane kotwy stalowe przy nierównomiernej aplikacji siły sprężającej. Takie rozwiązanie zabezpiecza dewiator na wypadek nierównomiernego obciążenia w trakcie naciągu cięgien sprężających.

Okucie – płaskownik stalowy zespolony z konstrukcją betonową belki współpracujący przy przenoszeniu zmiennych obciążeń ścinających.



Rys. 12. Ciągnowa konstrukcją odciążająca

8. Podsumowanie

Sprawne wykonanie wzmocnienia konstrukcji było możliwe dzięki bardzo dobrej współpracy wykonawcy BBR Polska (i jej partnerów w tym przedsięwzięciu: firm EURO-PROJEKT z Wrocławia i POB z Sopotu) z Projektantem kompleksowej modernizacji hali. Specjalistyczna wiedza wykonawcy i zatrudnienie wysokokwalifikowanych pracowników umożliwiły zastosowanie szerokiej palety nowoczesnych rozwiązań technologicznych do zrealizowania celu projektowego, którym było przywrócenie uszkodzonym elementom konstrukcyjnym hali ich pełnej nośności.

Wzmacnianie konstrukcji nośnej dachu zostało zrealizowane bez konieczności demontażu jakichkolwiek elementów nośnych. Taka technologia pozwalała na równoczesne prowadzenie prac wzmacniających i dekarских, a jedyne ograniczenie projektowe stanowiło ewentualne obciążenie dachu śniegiem.

Dzięki dokładnie przemyślanemu projektowi uwzględniającemu wszelkie lokalne uwarunkowania, kompleksową naprawę i podniesienie nośności rygli zrealizowano w krótkim czasie i stosunkowo niewysokimi nakładami : wbudowano łącznie około 3500 mb taśm, 1500 m² mat i 10t stali.

Do sukcesu przedsięwzięcia walenie przyczyniła się konstruktywna postawa i pomoc Inwestora.