



## REMONT USZKODZONYCH ŻELBETOWYCH SŁUPÓW GŁÓWNYCH WIEŻY WĘGLOWEJ PRZEPROWADZONY PODCZAS EKSPLOATACJI TEGO OBIEKTU

BOGDAN PODOLSKI, *bgpodolski@poczta.onet.pl*

TOMASZ BARTOSIK

Euro-Projekt, Wrocław

MICHAŁ PODOLSKI

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska

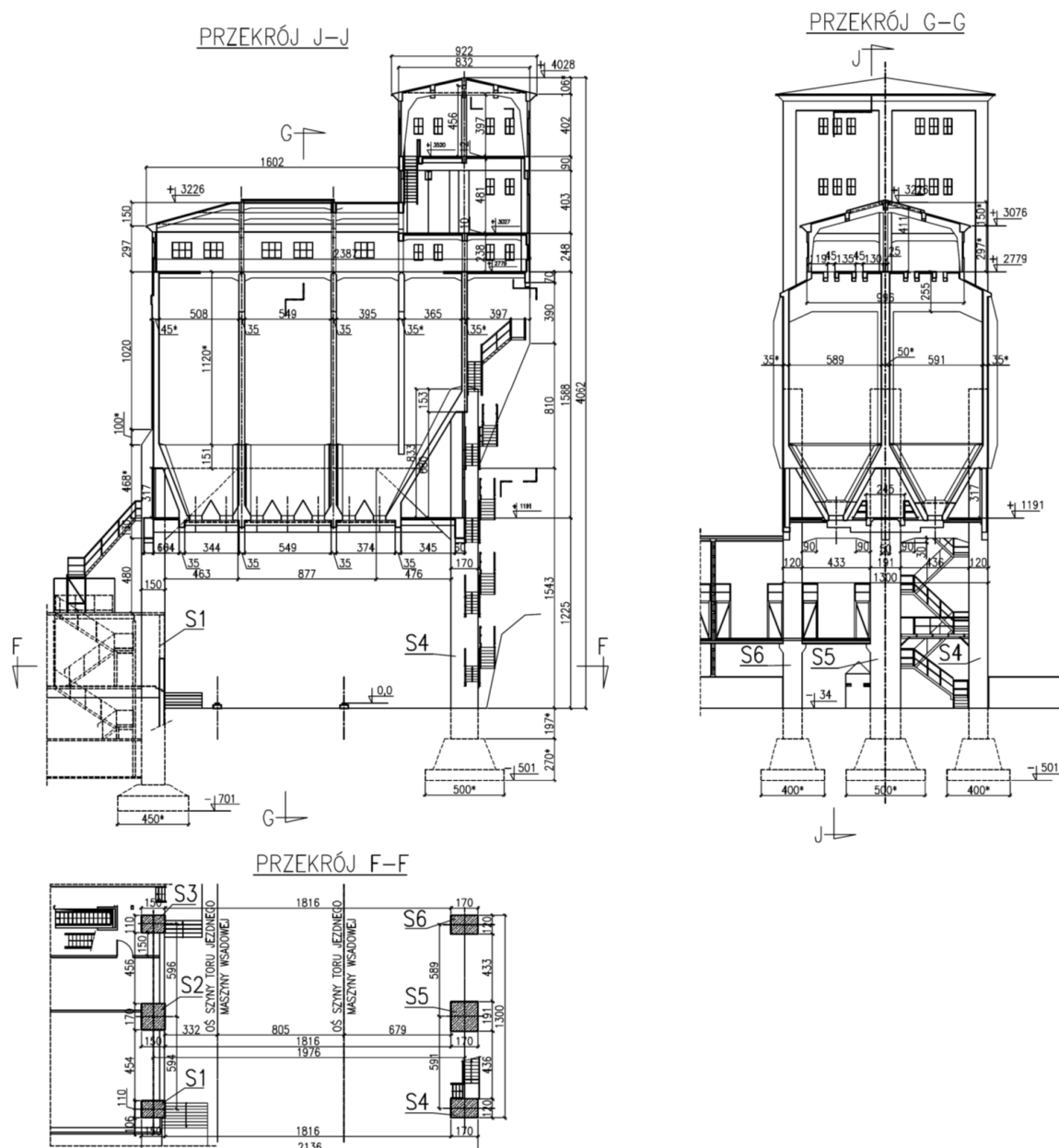
**Streszczenie:** W referacie przedstawiono sposób przeprowadzenia remontu i wzmocnienia zagrożonych awarią żelbetowych słupów wieży węglowej w koksowni pochodzącej z lat 30. XX w., w warunkach ciągłej, choć ograniczonej eksploatacji tej wieży. Istotnym problemem do rozwiązania okazało się zapewnienie bezpieczeństwa tych słupów i tym samym całej wieży podczas prac remontowych. Zaprezentowano wstępne wzmocnienie słupów za pomocą mat z włókien węglowych i stężeń w postaci stalowych rur oraz sposób przeprowadzenia remontu dostosowany do warunków eksploatacji obiektu.

**Słowa kluczowe:** koksownia, bateria koksownicza, wieża węglowa, przeciążenie, awaria, doraźne wzmocnienie, włókno węglowe.

### 1. Wprowadzenie

Specyfiką koksowni jest ciągła eksploatacja baterii koksowniczych przez długi okres (ok. 20–25 lat), podczas którego nie są one wygaszane [1]. W związku z tym remonty obiektów koksowni są często prowadzone w czasie ich użytkowania. Powoduje to konieczność dostosowania harmonogramu i technologii robót budowlanych do procesów produkcyjnych występujących w koksownictwie. Z taką sytuacją spotkano się w przypadku opisanym w referacie. W koksowni podjęta została decyzja o remoncie i wzmocnieniu fundamentu toru jezdni wsadnicy oraz gruntownym remoncie wieży węglowej, których ogólny stan techniczny, zdaniem zarządu przedsiębiorstwa, mógł nie gwarantować bezpiecznej eksploatacji. Roboty te miały być wykonane przy jednoczesnym utrzymaniu produkcji baterii koksowniczych, które jeszcze nie wymagały tak pilnego remontu.

W omawianej koksowni był stosowany ubijany system przygotowania wsadu, w związku z czym wieża węglowa była usytuowana w osi toru maszyny wsadowej, obok baterii. Zgodnie z planem w pierw wykonany został remont fundamentów toru maszyny wsadowej, a następnie, na podstawie dokumentacji projektowej i poprzedzającej ją ekspertyzy, rozpoczęto gruntowny remont wieży węglowej. Remont wieży węglowej prowadzono dwuetapowo: w pierwszym etapie, ze względu na znaczny zakres zniszczeń oraz istotne znaczenie dla bezpieczeństwa obiektu, wykonany został remont pomostu technologicznego oraz słupów wieży, w drugim etapie remont pozostałej części tego obiektu. W dalszej części referatu będą przedstawione, na tle innych, problemy związane z remontem i wzmocnieniami zagrożonych awarią słupów, wynikające ze znacznych ich przekrojów, rozległych zniszczeń oraz trudności prowadzenia robót w warunkach użytkowania sąsiadującej baterii koksowniczej.



Rys. 1. Konstrukcja wieży węglowej

## 2. Opis wieży węglowej

Wieża węglowa opiera się na sześciu żelbetowych słupach o znacznych i zróżnicowanych przekrojach ( $1,20 \times 1,70$  m,  $1,50 \times 1,10$  m,  $1,50 \times 1,70$  m,  $1,70 \times 1,90$  m), dostosowanych do przenoszonych obciążeń. Słupy zostały posadowione na żelbetowych stopach fundamentowych na poziomie litej skały [2]. Pomiędzy rzędami słupów znajduje się tor maszyny wsadowej, która pobiera węgiel z wieży węglowej. Główną część wieży stanowi dwukomorowy, żelbetowy zasobnik na węgiel, wyposażony w leje. Na poziomie lejów znajduje się pomost technologiczny służący do obsługi urządzeń sterujących zasypem węgla do maszyny wsadowej oraz pełniący funkcję komunikacyjną. Nad zasobnikiem wykonane zostały strop płytowo-żebrowy oraz żelbetowa, monolityczna hala, w której zainstalowane są urządzenia zasilające komory w węgiel. Konstrukcję wieży węglowej scharakteryzowano na rys 1.

Słupy wieży węglowej były zbrojone podłużnie na swoich obwodach prętami okrągłymi o pierwotnych średnicach 30 mm, łączonymi na zakład. Zastosowane były strzemiona o średnicy 8 mm (średnica pierwotna) w zróżnicowanych rozstawach w granicach 10–30 cm.

### 3. Stan techniczny konstrukcji wieży węglowej, ze szczególnym uwzględnieniem słupów

Żelbetowe elementy wieży węglowej w ciągu ok. 80. letniej eksploatacji zostały w znacznym stopniu zdegradowane. Tego przejawy to:

- zły stan zachowania zewnętrznego, cementowego tynku na ścianach wieży,
- ubytki lub odspojenia otuliny betonowej, w różnym stopniu zaawansowana korozja zbrojenia, odspojenia zbrojenia głównego od betonu,
- miejscowe całkowite zniszczenia zbrojenia (strzemion),
- obecność pęknięć i rys w elementach powierzchniowych (ścianach) i prętowych.



Rys. 2. Zły stan zachowania elementów żelbetowych wieży węglowej



Rys. 3. Uszkodzenia słupów żelbetowych: ubytki otuliny betonowej, zaawansowana korozja zbrojenia, odspojenia zbrojenia głównego od betonu, całkowite zniszczenia strzemion

Fragment jednej ze ścian został wzmocniony doraźnie elementami stalowymi. Występowały liczne uszkodzenia żeber pomostu technologicznego wieży, którego bezpieczeństwo było jednym z warunków użytkowania całego obiektu.

W przeciwieństwie do elementów nadziemnych fundamenty słupów głównych zachowały się w dość dobrym stanie technicznym, a dzięki posadowieniu na skale powinny być stabilne.

W ramach prac eksperckich oceniona została jakość betonu w konstrukcji wieży oraz zagrożenia chemiczne. Uzyskano następujące wyniki:

- jakość betonu na podstawie pomiarów sklerometrycznych oraz badań próbek z odwiertów odpowiadała klasom w zakresie C 8/10 – C 12/15,
- wytrzymałość na odrywanie określona metodą „pull-off”:
  - wartość średnia 1,13 MPa,
  - wartość minimalna 0,50 MPa,
  - głębokość karbonatyzacji 25–77 mm,
- zawartość szkodliwych związków chemicznych:
  - chlorków 0,05–0,19%,
  - siarczanów 0,20–0,35%,
  - azotanów 0,01–0,10%.

Wyniki te uzasadniały pierwotną ocenę stanu technicznego obiektu oraz wskazywały na jego przyczyny (karbonatyzacja betonu, korozja chemiczna, niska jakość betonu). Zwraca uwagę niezadowalająca wytrzymałość betonu na odrywanie.

Szczególnie dużo uwagi poświęcono słupom głównym wieży węglowej (rys. 1, 3) ze względu na ich ogólnie zły stan techniczny, istotne znaczenie dla bezpieczeństwa obiektu oraz spodziewane trudności w przeprowadzeniu ich remontu. Uszkodzenia wszystkich sześciu słupów były znaczne i rozległe, jednak słupy S1, S2 i S3, usytuowane od strony baterii koksowniczej, były w wyraźnie gorszym stanie niż pozostałe. Wskazywały na to wyniki badań słupów, w których stwierdzono:

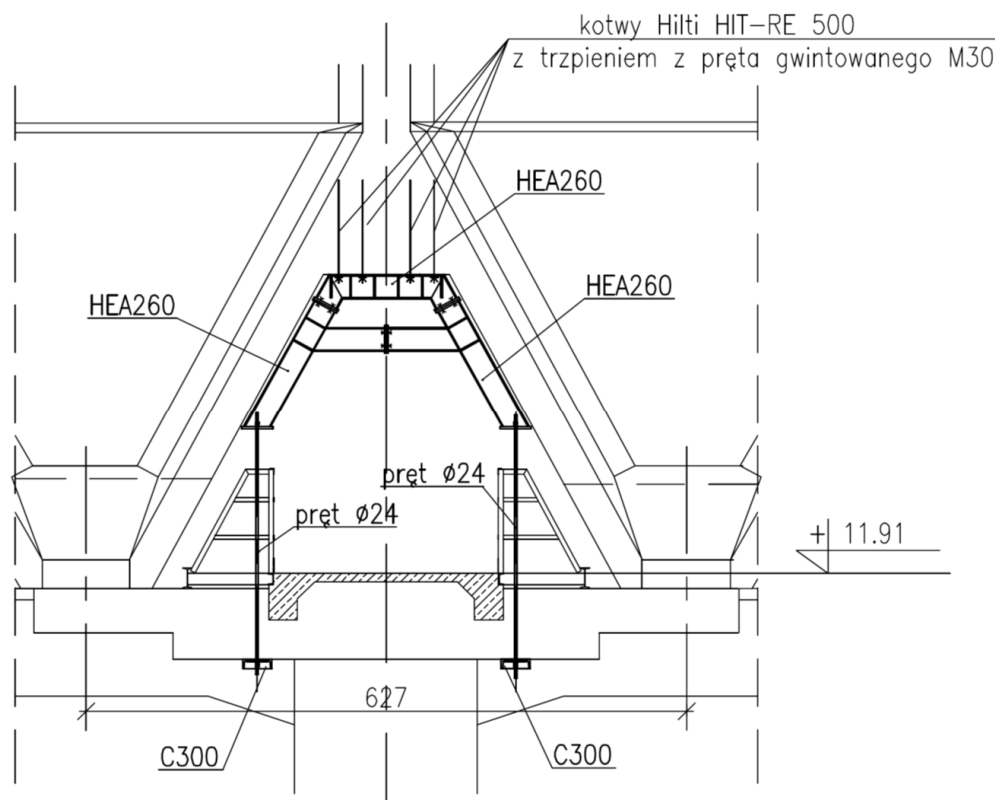
- w słupach S1, S2 i S3:
  - grubość zniszczonej warstwy betonu 10–15 cm, większe uszkodzenia w narożach,
  - ubytki pierwotnych średnic ( $d = 30$  mm) zbrojenia głównego do ok. 11 mm,
  - zniszczenie praktycznie wszystkich strzemion (o pierwotnej średnicy 8 mm),
  - odspojenie od betonu większości zbrojenia głównego, w tym również lokalnie na długości zakładów tego zbrojenia,
- w słupach S4, S5 i S6:
  - grubość zniszczonej warstwy betonu ok. 5 cm,
  - ubytki pierwotnych średnic ( $d = 30$  mm) zbrojenia głównego do ok. 5 mm,
  - lokalne zniszczenia strzemion.

Wykonane obserwacje i obliczenia wykazały występowanie zagrożenie bezpieczeństwa zasobnika (na skutek ok. 60% przeciążenia żelbetowych żeber) oraz zagrożenie awarią pomostu technologicznego ze względu na zły stan techniczny głównych elementów nośnych.

Poważne obawy budził stan techniczny słupów S1, S2 i S3 ze względu na zły stan zbrojenia i zakres uszkodzeń betonu, w związku z czym wykonano oszacowanie ich nośności. W obliczeniach przyjęto: klasę betonu C 10/12,5, średnią głębokość uszkodzeń betonu 12,5 cm, pominięto wpływ zniszczonego zbrojenia, uwzględniono wpływ smukłości. Przykładowo dla słupów S1 i S3, w których występują siła osiowa i moment zginający o wartościach  $N = 8979$  kN i  $M = 490$  kNm, otrzymano: graniczną nośność 5982 kN oraz wynikające stąd 50% przeciążenie. Stan ten oceniono jako stwarzający zagrożenie bezpieczeństwa dla całego obiektu.

W tym stanie rzeczy, na podstawie zaleceń eksperckich, zostały podjęte następujące decyzje:

- obniżono dopuszczalny poziom składowania węgla w zbiornikach o 3 m,
- stan techniczny wieży miał być stale monitorowany przez służby techniczne,
- ograniczono do niezbędnego minimum obecność ludzi w obrębie pomostu technologicznego,
- trybie pilnym rozpoczęto opracowywanie dokumentacji projektowej remontu słupów, poprzedzoną uzupełniającymi badaniami,
- równocześnie możliwie szybko opracowano dokumentację projektową oraz wykonano stalowe zawieszenie żeber pomostu technologicznego do konstrukcji zbiornika (rys. 4).



Rys. 4. Zawieszenie żeber pomostu technologicznego do konstrukcji zbiornika wieży węglowej

#### 4. Sposób remontu słupów głównych

Jak poprzednio wspomniano, autorom projektu remontu narzucono istotny warunek użytkowania wieży węglowej również w czasie trwania jej remontu. Spełnienia tego postulatu wymagało uwzględnienia warunków pracy maszyny wsadowej obsługującej baterię koksowniczą, przemieszczającą się w bezpośredniej bliskości słupów. Ponadto bezwzględnie należało wyeliminować zagrożenie powodowane przeciążeniem słupów S1, S2 i S3. W celu uzyskania dodatkowych informacji niezbędnych do projektowania wykonano badania, które objęły:

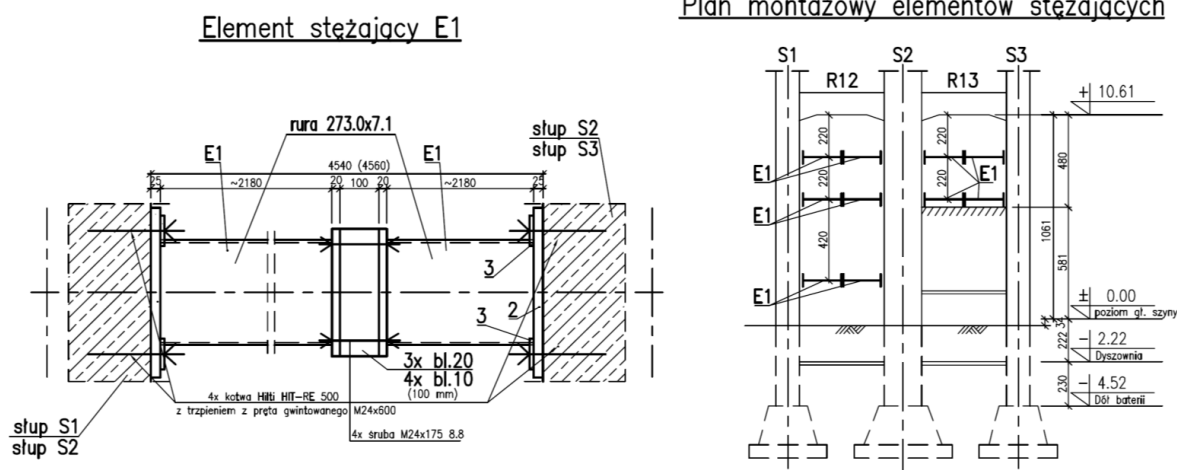
- ocenę spawalności stali zbrojeniowej prętów głównych,
- badania wytrzymałościowe próbek tej stali,
- ocenę wytrzymałości połączeń spawanych,
- wykonanie dodatkowych odkrywek w słupach w celu ostatecznej oceny grubości warstwy betonu, która powinna być usunięta w czasie remontu.

Badania chemiczne stali zbrojeniowej wykazały nadmierną zawartość siarki wynoszącą 0,063%, zaś badania metalograficzne dużą ilość siarczków rozmieszczonych pasmowo, co klasyfikuje tę stal jako niespawalną (badania i ocena Instytutu Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej).

Badania próbek stali, przeprowadzone w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, potwierdziły wstępną ocenę, że jest to stal niskowęglowa o wyraźnej granicy plastyczności, zaś wyznaczona na tej podstawie wytrzymałość obliczeniowa stali wyniosła 200 MPa. Mimo braku gwarancji spawalności stali zbrojeniowej postanowiono wykorzystać spawanie dla wzmocnienia połączeń istniejącego zbrojenia podłużnego słupów. W tym celu w poprzednio wspomnianym instytucie wykonano dodatkowe badania niszczące normowych połączeń spawanych starych prętów zbrojeniowych. Okazało się, że we wszystkich próbkach wytrzymałość połączeń była większa niż prętów łączonych.

Istotnym problemem do rozwiązania było zapewnienie bezpieczeństwa słupów i wieży węglowej podczas projektowanego remontu. Wiadomo, że przeciążenie elementów konstrukcyjnych eliminuje się zazwyczaj przez zmniejszenie obciążeń lub przeniesienie ich na dodatkowe elementy. W tym przypadku, ze względu na postulowaną ciągłą eksploatację wieży i maszyny wsadowej, nie było możliwe zastosowanie dodatkowych podparć zbiornika węgla. W związku z tym przyjęto różne rozwiązania pozwalające na zwiększenie nośności słupów S1, S2 oraz S3 i praktyczną likwidację ich przeciążeń, a mianowicie:

- uzyskano zgodę na obniżenie poziomu składowania węgla w zbiorniku o dalsze 2 m, do wartości 5 m,
- wykonano stężenia przeciążonych słupów S1, S2 i S3 w postaci rozpór wykonanych z rur stalowych (rys. 5), co pozwoliło na zmniejszenie długości wybozeniowych tych słupów w płaszczyźnie mniejszej sztywności,
- wykonano wzmocnienia ww. słupów w częściach najbardziej uszkodzonych (ze zniszczonym lub odspojonym zbrojeniem) przez wzmocnienie betonowych rdzeni za pomocą opasek z mat CFRP, przyklejanych w miarę możliwości pod istniejącym zbrojeniem (rys. 6, 7),
- bezpośrednio nad matami, z każdej strony przekroju słupa, zostały wklejone wzmacniające beton pręty zbrojeniowe (rys. 6).



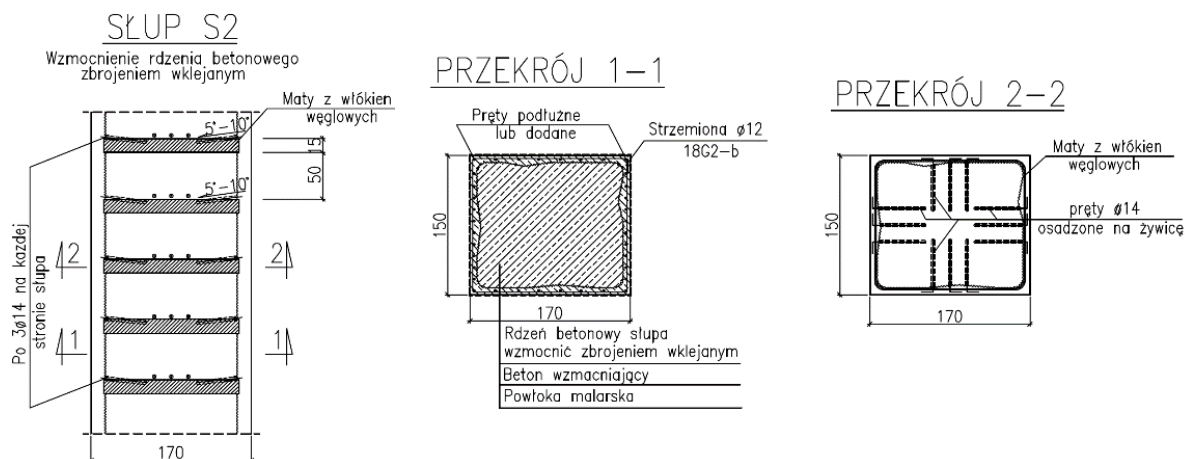
Rys. 5. Konstrukcja rozpór stężących słupy S1, S2, S3

Remont słupów był odtworzeniowy i wykonywany był odcinkami od dołu ku górze.

W ramach tego etapu remontu wykonywano również remont odtworzeniowy żelbetowych rygli łączących słupy, a także żelbetowych tarcz. Były to roboty typowe dla napraw starych konstrukcji [3].

Realizacja remontu słupów stanowiła poważne wyzwanie dla wykonawcy tych robót ze względu na:

- konieczność uwzględnienia okresowej pracy maszyny wsadowej i możliwość prowadzenia robót jedynie w przerwach pracy maszyny, zgodnie z ustalonym przez inwestora harmonogramem obsługi baterii koksowniczej; technologia robót remontowych, w tym zastosowane deskowania i rusztowania, musiały uwzględniać możliwość ruchu maszyny wsadowej pod wieżą,
- możliwość demontażu lub przełożenia jedynie części instalacji kolidujących z prowadzonymi robotami,
- konieczność prowadzenia robót spawalniczych w obszarze zagrożonym wybuchem gazów.



Rys. 6. Szczegóły wzmocnień słupów na przykładzie słupa S2



Rys. 7. Wzmacnianie jednego ze słupów

Po tymczasowym wzmocnieniu słupów S1, S2 i S3 oraz ustaleniu harmonogramu dostępności wieży, remont słupów był bezpiecznie realizowany. Decyzje o zachowaniu lub wymianie istniejącego zbrojenia były podejmowane na budowie, po oczyszczeniu odcinka słupa i sprawdzeniu wielkości ubytków korozyjnych. Wszystkie uszkodzone strzemiona były wymieniane na nowe, zachowane w dobrym stanie pozostawiano, przy czym ich zakładki wzmacniano przez spawanie. Zachowano układ zbrojenia podłużnego słupów, uzupełnienia były wykonywane prętami ze stali 18G2-b, połączenia prętów wykonywane były jako spawane przy powiększonej długości zakładów. Przy znacznych ubytkach betonu reprofilację wykonywano betonem układanym w deskowaniu, natomiast przy niewielkich ubytkach ręcznie zaprawą cementowo-polimerową.

## 5. Podsumowanie

Opisany przykład remontu wieży węglowej w koksowni jest charakterystyczny dla starych, będących w eksploatacji obiektów przemysłowych. Uszkodzenia stwierdzone w elementach

wieży po ok. 80 latach użytkowania i przypuszczalnie nielicznych naprawach są wynikiem oddziaływania przemysłowej atmosfery na beton i zbrojenie. Nie można za obecny stan zachowania obiektu, a zwłaszcza słupów głównych, winić projektanta lub wykonawcę tej wieży, gdyż beton marki 12 MPa, przyjęty w pierwotnym projekcie, w latach 30. XX wieku uważany był za właściwy dla budynku przemysłowego.

W referacie świadomie skoncentrowano się na fragmencie remontu wieży, którym był remont masywnych słupów głównych, gdyż postulat ciągłej eksploatacji wieży węglowej najbardziej skomplikował przebieg remontu tych słupów. Konieczne okazało się dostosowanie przebiegu remontu do harmonogramu obsługi baterii koksowniczych przez maszynę wsadową, a także uwzględnienie możliwości przejazdu tej maszyny w bezpośredniej bliskości słupów. Niezbędne było zapewnienie odpowiedniej nośności słupów, a więc również bezpieczeństwa całej wieży w czasie robót remontowych, podczas których ze słupów będą usuwane fragmenty uszkodzonego betonu i wycinane zniszczone zbrojenie. W opisanym przypadku nie było praktycznej możliwości dodatkowego podparcia wieży, dlatego zastosowano stężenie zagrożonych słupów oraz wstępnie je wzmocniono za pomocą mat z włókien węglowych klejonych do rdzenia betonowego na obwodzie słupów [4], w miarę możliwości pod istniejącym zbrojeniem. Sukces remontu słupów wskazuje na celowość wykorzystywania mat oraz taśm również do wstępnego wzmocniania elementów żelbetowych w przypadkach podobnych do opisanego w referacie.

### Literatura

1. Budownictwo betonowe, tom XII, Budowle przemysłowe. Praca zbiorowa pod kierunkiem Igora Kisiela, Arkady, Warszawa 1971.
2. Archiwalna projektowa dokumentacja przedmiotowej wieży węglowej pochodząca z 1929 r., udostępniona przez inwestora remontu.
3. Czarnecki L., Emmons P.H. Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Polski Cement, Kraków 2002.
4. Bartosik T., Kałuża M. Wzmocnianie konstrukcji z betonu materiałami na bazie włókien węglowych, szklanych i aramidowych, rodzaje produktów, zasady projektowania, technologia wykonywania i kontrola jakości robót – „Warsztaty pracy projektanta konstrukcji”, Szczyrk 2006.

### REPAIR OF THE DAMAGED MAIN RC COLUMNS OF THE COAL TOWER DURING OPERATION OF THE BUILDING

**Abstract:** The paper presents methods of execution of repair and strengthening of reinforced concrete columns located in coal tower in coke plant which was built in 1930 s. Repairs and strengthening of columns were carried out in ongoing, but limited operation of tower. The important problem to solve was to ensure the safety of these columns and the tower during repair. It is presented the initial strengthening of columns with use of carbon fibre sheets and bracings made of steel pipes. The method of repairs and strengthening of reinforced concrete columns which is suitable for conditions of building under operation is also presented.

**Keywords:** coke plant, coke battery, coal tower, overloading, failure, temporary strengthening, carbon fiber.