

obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju w ramach pakietu tematycznego: *PT 7. Oszczędność energii i problemy zrównoważonego rozwoju w budownictwie* i tematu badawczego *TB 7.2. Metoda oceny budynków użyteczności publicznej z pasywnymi systemami wykorzystania energii słonecznej pod kątem oszczędności energii oraz komfortu cieplnego i wizualnego ludzi* współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Projekt realizowano w latach 2010 – 2014.

## Literatura

- [1] Arens E., Zhang H., Huizenga C.: Partial- and whole-body thermal sensation and comfort-Part II: Non-uniform environmental conditions, *Journal of Thermal Biology* 31: s. 60-66, 2006.  
[2] Atmaca I., Kaynakli O., Yigit A.: Effect radiant temperature on thermal comfort, *Energy and Buildings*, 42, s. 3210-3220, 2007.  
[3] Dubois M-C.: *Solar Shading for Low Energy Use and Daylight Quality in Offices: Simulations,*

*Measurements and Design Tools*, Dept. of Construction and Architecture, Div. of Energy and Building Design, Lund University (Sweden), 2001.

[4] Fanger P. O., Toftum J.: Extension of the PMV model to non-airconditioned buildings in warm climates, *Energy and Buildings* 34: s. 533-536, 2002.

[5] de Dear R. J., Brager G. S.: Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55, *Energy and Buildings* 34: s. 549-561, 2002

[6] Hodder S. G., Parsons K.: The effects of solar radiation on thermal comfort. *International Journal of Biometeorology* 01, s. 233-250, 2007.

[7] Lyons P. R., 2002: Window performance for human thermal comfort, *ASHRAE Transactions*, 594-602, 2002.

[8] Nowak H., Nowak Ł., Śliwińska E., Staniec M.: *TB 7.2 Metoda oceny budynków użyteczności publicznej z pasywnymi systemami wykorzystania energii słonecznej pod kątem oszczędności energii oraz komfortu cieplnego i wizualnego ludzi. Raport końcowy. Raporty PWroc. 2014, Ser. SPR nr 5/2014*

[9] Nowak H., Nowak Ł., Śliwińska E., Staniec M.: Effect of horizontal overhangs and glazing with spectral radiative properties on annual thermal balance of the building and thermal comfort / H. Nowak [i in.]. W: *Contributions to building physics: Proceedings of the 2nd Central European Symposium on Building Physics*, 9-11 September 2013, Vienna, Austria / ed. by A. Mahdavi, B. Martens. Vienna: Vienna University of Technology, s. 767-774, Wiedeń, 2013,

[10] Śliwińska E., Nowak H., Nowak Ł., Staniec M., Wpływ konstrukcji zacieniającej na komfort cieplny ludzi w budynkach o dużym stopniu przeszklenia, *Czasopismo Techniczne. B, Budownictwo. R. 109, z. 3 2-B*, s. 415-422, 2012,

[11] ISO 7730, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD Indices and specification of the conditions for thermal comfort, Geneva, International standards Organisation, 1994, wersja polska: PN-EN ISO 7730:2006E; Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego.

Przyjęto do druku: 12.08.2015 r.

mgr inż. Michał Podolski<sup>1)\*</sup>  
dr inż. Bogdan Podolski<sup>2)</sup>  
mgr inż. Tomasz Bartosik<sup>3)</sup>

## Remont zdegradowanych i zagrożonych awarią żelbetowych słupów o znacznych przekrojach

### *Repair of the damaged and threatened failure RC columns with large cross-sections*

DOI: 10.15199/33.2015.10.21

(Studium przypadku)

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono główne wyniki eksperckich prac badawczych oraz koncepcję i sposób realizacji remontu zagrożonych awarią żelbetowych słupów głównych wieży węglowej w koksowni z lat 30. XX w. Remont słupów, prowadzony w warunkach ciągłej eksploatacji wieży węglowej, stanowił bardzo ważny, pierwszy etap remontu całego obiektu, a jego powodzenie warunkowało realizację następnych robót. Problem, który należało rozwiązać, to zapewnienie bezpieczeństwa użytkownika wieży węglowej podczas robót budowlanych. Remont przedmiotowych słupów, mimo utrudnień, zakończył się sukcesem, zaś uzyskane doświadczenie pozwoliło na przedstawienie szerszych wniosków dotyczących remontu żelbetowych konstrukcji przemysłowych.

**Słowa kluczowe:** wieża węglowa, awaria, remont.

**Abstract.** The paper presents main results of research works and the conception of repair of reinforced concrete columns located in coal tower in coke plant which was built in 1930s. Repairs and strengthening of columns were carried out in ongoing operation of tower and were the very important part of repair of the facility. The problem, which was to solve at the beginning, was to ensure the safety of usage of the coal tower in the time of construction works. The repair of columns, despite difficulties, was a success. The gained experience allowed to present the conclusions for repairs of the industrial reinforced concrete structures.

**Keywords:** coal tower, failure, repair.

Remont żelbetowych konstrukcji przemysłowych, które muszą pozostawać w ciągłej eksploatacji, jest zadaniem trud-

niejszym niż innych konstrukcji. Istotnym warunkiem, który powinny spełniać remontowane konstrukcje, jest zapewnienie bezpieczeństwa w okresie prowadzenia robót, kiedy elementy żelbetowe są osłabione po usunięciu zniszczonego betonu i zbrojenia. W przypadku, gdy stopień degradacji żelbetu jest duży i można mówić o stanie zagrożenia awaryjnego konstruk-

cji, a odciążenie jej, wymagane ze względów bezpieczeństwa jest niemożliwe, wówczas remont eksploatowanego obiektu przemysłowego będzie możliwy do wykonania pod warunkiem zastosowania innych, niestandardowych rozwiązań. Problem ten przedstawiono na przykładzie remontu słupów głównych wieży węglowej w koksowni.

<sup>1)</sup> Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

<sup>2)</sup> Pro-Expert, Wrocław

<sup>3)</sup> Euro-Projekt, Wrocław

\*) Autor do korespondencji:  
e-mail: [michal.podolski@pwr.edu.pl](mailto:michal.podolski@pwr.edu.pl)

# 70 lat Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego

Specyfiką koksowni jest ciągła nieprzerwana eksploatacja baterii koksowniczych przez długi okres, podczas którego nie są one wygaszane. W związku z tym remont koksowni, zwłaszcza wydziału piecowni, często jest prowadzony w czasie ich użytkowania. Konieczne jest więc dostosowanie harmonogramu i technologii robót budowlanych do procesów produkcyjnych.

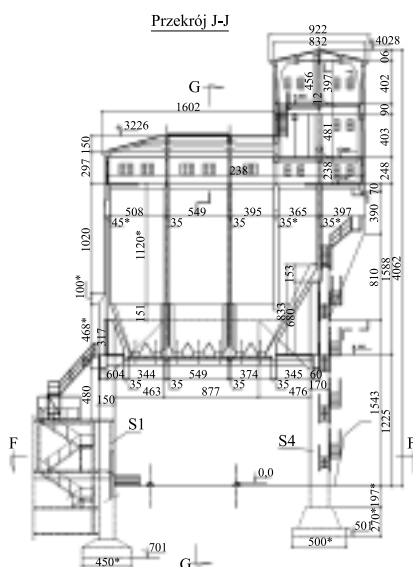
W omawianej koksowni zastosowano ubijany system przygotowania wsadu i dlatego wieża węglowa została usytuowana obok baterii, w osi toru maszyny wsadowej, tzw. wsadnicy, która m.in. pobiera mieszankę węgla z wieży węglowej, ubija wsad do postaci brykietu i wprowadza go do komory baterii koksowniczej, a po zakończonym procesie wypycha koks z komór [1]. Biorąc pod uwagę pogarszający się stan techniczny obiektów wydziału piecowni, który mógł nie gwarantować bezpiecznej eksploatacji, podjęto decyzję o remoncie i wzmocnieniu fundamentu toru jezdny wsadnicy w koksowni oraz gruntownym remoncie wieży węglowej. Roboty te miały być wykonane przy jednoczesnym utrzymaniu produkcji baterii koksowniczych, które jeszcze nie wymagały tak pilnego remontu. Zgodnie z planem najpierw wykonano remont fundamentów toru maszyny wsadowej, a następnie, na podstawie dokumentacji projektowej i poprzedzającej ją ekspertyzy, rozpoczęto gruntowny remont wieży węglowej. Prowadzono go dwuetapowo: w pierwszym etapie, ze względu na znaczny zakres zniszczeń oraz istotne znaczenie dla bezpieczeństwa obiektu, wykonano remont pomostu technologicznego oraz słupów wieży, a w drugim – remont pozostałej części obiektu.

## Opis wieży węglowej

Wieża węglowa (fotografia 1, rysunek 1) opiera się na sześciu żelbetonowych słupach o zróżnicowanym przekroju (1,20 x 1,70 m, 1,50 x 1,10 m, 1,50 x 1,70 m, 1,70 x 1,90 m), dostosowanym do przenoszonych obciążeń. Słupy zostały posadowione na żelbetonowych stopach fundamentowych, wg zachowanej dokumentacji projektowej [2], na poziomie litej skały. Pomiędzy rzędami słupów znajduje się tor maszyny wsadowej. Główną część wieży stanowi dwukomorowy, żelbetowy zasobnik na węgiel, wyposażony w leje. Na poziomie lejów jest pomost technologiczny do obsługi urządzeń sterujących zasypem wę-



Fot. 1. Widok wieży węglowej  
Photo 1. View of coal tower



Rys. 1. Konstrukcja wieży węglowej  
Fig. 1. Structure of coal tower

gla do maszyny wsadowej oraz pełniący funkcję komunikacyjną. Nad zasobnikiem wykonane zostały strop płytowo-żebrowy oraz żelbetowa, monolityczna hala, w której zainstalowano urządzenia zasilające komory w węgiel. Słupy wieży węglowej były zbrojone podłużnie na obwodach prętami okrągłymi o średnicy 30 mm, łączonymi na zakład. Strzemiona o średnicy 8 mm (średnica pierwotna) umieszczono co 10 – 30 cm.

## Stan techniczny konstrukcji wieży węglowej

Przeprowadzone badania eksperckie wykazały, że żelbetonowe elementy wieży węglowej w ciągu ok. 80-letniej eksploatacji uległy znacznej degradacji. Stwierdzono:

- zły stan techniczny tynku cementowego na ścianach zewnętrznych wieży;
- ubytki lub odspojenia otuliny betonowej, w różnym stopniu zaawansowaną korozję zbrojenia, odspojenia zbrojenia głównego od betonu;
- miejscowe, całkowite zniszczenia zbrojenia (strzemion);
- obecność pęknięć i rys w elementach powierzchniowych (ścianach, tarczach) oraz żebrach i podciągach.

Na fotografii 2 przedstawiono uszkodzony słup żelbetonowy i ubytki otuliny betonowej, zaawansowaną korozję zbrojenia, odspojenia zbrojenia głównego od betonu i całkowite zniszczenia strzemion.

Fragment jednej ze ścian został doraźnie wzmocniony 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 oceniano jakość betonu w konstrukcji wieży oraz zagrożenia chemiczne. Uzyskano następujące wyniki:

- jakość betonu próbek z odwiertów oraz uzyskanych z pomiarów sklerometrycznych odpowiadała betonowi o klasie 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%.



Fot. 2. Uszkodzenie słupów żelbetonowych  
Photo 2. Damages of RC columns

Uzyskane wyniki uzasadniały wstępną, wizualną ocenę stanu technicznego obiektu oraz wskazywały na karbonatyzację, korozję chemiczną i słabą jakość betonu. Zwraça uwagę niezadowalająca wytrzymałość betonu na odrywanie.

Szczególnie dużo uwagi poświęcono słupom głównym wieży węglowej (fotografia 2) ze względu na ich ogólnie zły stan techniczny, istotne znaczenie dla bezpieczeństwa obiektu oraz spodziewane trudności w przeprowadzeniu remontu. Uszkodzenia wszystkich sześciu słupów były rozległe. Słupy S1, S2 i S3, usytuowane od strony baterii koksowniczej, były w wyrażnie gorszym stanie niż pozostałe. Stwierdzono:

- w słupach S1, S2 i S3: grubość zniszczonej warstwy betonu lokalnie sięgająca 10 – 15 cm i jeszcze większe uszkodzenia w narożach; ubytki pierwotnej średnicy ( $d = 30$  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 zbrojenia;

- w słupach S4, S5 i S6: grubość zniszczonej warstwy betonu ok. 5 cm; ubytki pierwotnej średnicy ( $d = 30$  mm) zbrojenia głównego do ok. 5 mm; lokalne zniszczenia strzemion.

Obserwacje i obliczenia wykazały zagrożenie bezpieczeństwa zasobnika (na skutek ok. 60% przeciążenia żelbetonowych żeber) oraz zagrożenie awarią pomostu technologicznego.

Ze względu na zły stan zbrojenia i zakres uszkodzeń betonu obawy budził stan techniczny słupów S1, S2 i S3. Oszacowano nośność oraz globalne współczynniki bezpieczeństwa słupów jako dobrze odzwierciedlające stan zagrożenia bezpieczeństwa. W obliczeniach pominięto udział zdegradowanego betonu oraz zniszczonego zbrojenia, natomiast uwzględniono wpływ smukłości słupów. Globalny współczynnik bezpieczeństwa słupów S1 i S3 w przypadku normalnej eksploatacji wieży wyniósł (przy tych założeniach) zaledwie  $s = 1,1$ , co oznaczało stan poprzedzający awarię. W rzeczywistości współczynnik ten był większy, ze względu na korzystny wpływ zbrojenia miejscowo ułożonego w niezdegradowanym betonie.

Na podstawie zaleceń eksperckich podjęto następujące decyzje:

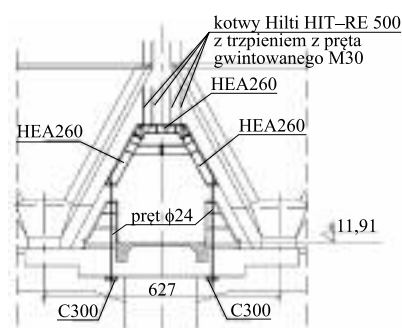
- obniżono dopuszczalny poziom składowania węgla w zbiornikach o 3 m, co zwiększyło pierwotną wartość globalnego współczynnika bezpieczeństwa najbardziej przeciążonych słupów o ok. 10%;

- zalecono stały monitoring stanu technicznego wieży przez służby techniczne;

- ograniczono do niezbędnego minimum obecność ludzi w obrębie pomostu technologicznego;

- w trybie pilnym rozpoczęto opracowywanie dokumentacji projektowej remontu słupów, poprzedzone uzupełniającymi badaniami;

- możliwie szybko opracowano dokumentację projektową oraz wykonano stałowe zawieszenie żeber pomostu technologicznego do konstrukcji zbiornika (rysunek 2).



**Rys. 2. Zamocowanie żeber pomostu technologicznego do konstrukcji zbiornika wieży węglowej**

*Fig. 2. Suspension of beams of technological platform to structure of coal tower hopper*

## Remont słupów głównych

Autorom projektu remontu narzucono istotny warunek użytkowania wieży węglowej również podczas trwania jej remontu. Spełnienia tego postulatu wymagało uwzględnienia warunków pracy maszyny wsadowej obsługującej baterię koksowniczą, przemieszczającą się w bezpośredniej bliskości słupów. Ponadto bezwzględnie należało ograniczyć zagrożenie spowodowane przeciążeniem słupów S1, S2 i S3. W celu uzyskania dodatkowych informacji niezbędnych do projektowania wykonano:

- ocenę spawalności stali zbrojeniowej prętów głównych;

- badania wytrzymałościowe próbek stali;

- ocenę wytrzymałości połączeń spawanych;

- dodatkowe odkrytki w słupach w celu możliwie dokładnej 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 zawartość siarczoków 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. Wyznaczona na tej podstawie wytrzymałość obliczeniowa stali wyniosła 200 MPa. Mimo braku gwarancji spawalności stali zbrojeniowej postanowiono zastosować spawanie w celu wzmocnienia połączeń istniejącego zbrojenia podłużnego słupów. W związku z tym, w Instytucie wykonano dodatkowe badania niszczące normowych połączeń spawanych starych prętów zbrojeniowych. Wytrzymałość połączeń spawanych wszystkich próbek była większa niż prętów łączonych.

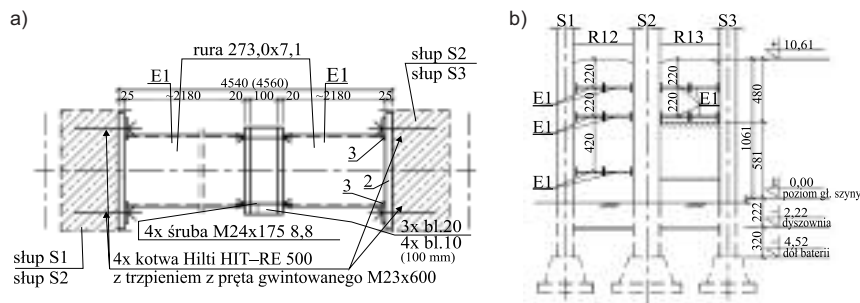
Istotnym problemem do rozwiązania było zapewnienie bezpieczeństwa słupów i wieży węglowej podczas remontu. Przeciężenie elementów konstrukcyjnych eliminuje się zazwyczaj przez zmniejszenie obciążeń lub przeniesienie ich na dodatkowe elementy. W tym przypadku, ze względu na postulowaną ciągłą eksploatację wieży i maszyny wsadowej, nie było możliwe zastosowanie dodatkowych podparć zbiornika węgla. W związku z tym przyjęto rozwiązania pozwalające na zmniejszenie obciążeń przekazywanych na słupy (w zakresie możliwym do przyjęcia ze względów technologicznych), zwiększenie nośności słupów S1, S2 oraz S3, a tym samym istotną redukcję przeciążenia, 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 z rur stalowych (rysunek 3), co pozwoliło na zmniejszenie długości wybożeniowej słupów w płaszczyźnie mniejszej sztywności.

Wymienione działania pozwoliły na zwiększenie globalnego współczynnika bezpieczeństwa słupów S1 i S3 do wartości  $s \cong 1,50$ , która była jednak jeszcze wyraźnie mniejsza niż wartość  $s = 2,5$ , przyjmowana w przypadku konstrukcji betonowych. W związku z tym podjęto kolejne działania zwiększające bezpieczeństwo obiektu, które ostatecznie uznano za wystarczające, a mianowicie:





**Rys. 3. Konstrukcja rozpór stężących słupy S1, S2, S3; a) element stężący; b) plan montażowy elementów stężących**

Fig. 3. Structure of bracings of S1, S2, S3 columns: a) bracing beam; b) assembly drawing of bracing beams

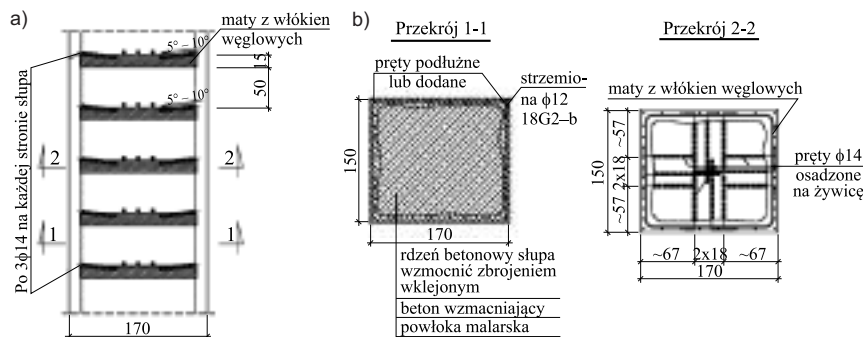
- wykonano wzmocnienia słupów ze zniszczonym lub odspojonym zbrojeniem przez wzmocnienie betonowych rdzeni za pomocą opasek z mat CFRP [4], przyklejanych w miarę możliwości pod istniejącym zbrojeniem (fotografia 3, rysunek 4);
- bezpośrednio nad matami, z każdej strony przekroju słupa, wklejono pręty zbrojeniowe wzmocniające beton (fotografia 3).

Remont słupów wykonywano odcinkami od dołu ku górze. W ramach tego etapu prowadzono również remont żelbetowych rygli łączących słupy, a także żelbetowych tarcz. Prace obejmowały typowe roboty w zakresie naprawy starych konstrukcji [3].

Remont słupów stanowił poważne wyzwanie dla wykonawcy ze względu na:



**Fot. 3. Wzmacnianie jednego ze słupów**  
Photo 3. Strengthening of one of columns



**Rys. 4. Szczegóły wzmocnienia słupów na przykładzie słupa S2: a) widok; b) przekrój**  
Fig. 4. Details of strengthening of S2 column: a) view; b) cross-section

- 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 części instalacji kolidujących z robotami;

- konieczność prowadzenia robót spawalniczych w obszarze zagrożonym wybuchem.

Decyzje o zachowaniu lub wymianie istniejącego zbrojenia były podejmowane na budowie, po oczyszczeniu odcinka słupa i sprawdzeniu wielkości ubytków korozyjnych. Wszystkie uszkodzone strzemiona wymieniono na nowe, a w przypadku zachowanych w dobrym stanie wzmocniono zakładki przez spawanie. Zachowano układ zbrojenia podłużnego słupów, uzupełnienia wykonywano na prętach ze stali 18G2-b, łączonych metodą spawania, przy powiększonej długości zakładów. W przypadku znacznych ubytków betonu prowadzono reprofiliację z zastosowaniem betonu układanego w deskowaniu, natomiast niewielkich ubytków ręcznie naniesiono zaprawę cementowo-polimerową.

Współpracę nowego betonu słupów ze starym uzyskano m.in. przez wklejenie po-

przechnych prętów zbrojeniowych w stary beton i zakotwienie w nowym. Po wykonaniu remontu całego obiektu i oddaniu wieży węglowej do eksploatacji należy spodziewać się korzystnej redystrybucji obciążeń w słupach prowadzącej do zmniejszenia się obciążeń przenoszonych przez stary beton na rzecz nowej konstrukcji.

## Podsumowanie

Istotnym problemem podczas remontu konstrukcji jest zapewnienie jej bezpieczeństwa na czas remontu. Nierzadko jest tak, że wiedza o rzeczywistym, złym, bądź awaryjnym, stanie zachowania obiektu pojawia się dopiero w czasie badań eksperckich. Podjęcie remontu konstrukcji w takim stanie może wymagać trudnej decyzji o wyłączeniu obiektu z użytkowania albo też różnych działań zwiększających bezpieczeństwo remontowanego obiektu w warunkach jego eksploatacji. Najczęściej stosowanym i skutecznym sposobem zwiększenia poziomu bezpieczeństwa osłabionych elementów żelbetowych, zwłaszcza pionowych elementów nośnych, w tym słupów, jest ich odpowiednie odciążenie. W przypadku zdegradowanych słupów żelbetowych korzystne jest zastosowanie na czas remontu również innych metod, np. zmniejszenie wpływu wybożenia przez dodatkowe stężenia, ułożenie zbrojenia poprzecznego wklejanego do betonu, a w przypadku słupów obciążonych głównie siłą osiową opasek z mat z włókien węglowych otaczających rdzeń.

Powodzenie remontu żelbetowych, zdegradowanych słupów wymaga zapewnienia współpracy nowej konstrukcji żelbetowej ze starym betonem przez uzyskanie dobrej przyczepności betonów oraz wprowadzenie dodatkowego, łączącego je zbrojenia.

Wszystkie fotografie – Autorzy

## 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] Czarniecki L., Emmons P. H.: Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Polski Cement, Kraków 2002.
- [4] Bartosik T., Kałuża M.: Wzmacnianie 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”, Szczryk 2006.

Przyjęto do druku: 12.08.2015 r.