

**XXIV**XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna  
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009**awarie budowlane**

Doc. dr inż. MARIUSZ DEMBIŃSKI  
Politechnika Poznańska

## **USZKODZENIA I NAPRAWA STULETNIICH ŻELBETOWYCH KONSTRUKCJI WSPORCZYCH KOTŁÓW WĘGLOWYCH**

### **DAMAGES AND REPAIR OF A 100-YEAR-OLD REINFORCED CONCRETE COAL BOILER SUPPORT STRUCTURES**

**Streszczenie** W pracy przedstawiono uszkodzenia około stuletnich żelbetowych konstrukcji wsporczych kotłów węglowych spowodowane licznymi nieprawidłowościami wykonawczymi oraz brakiem odpowiedniego nadzoru nad eksploatowanym obiektem. Przyczyny te doprowadziły do powstania stanu awaryjnego monolitycznej konstrukcji żelbetowej. Poważne uszkodzenia występowały we wszystkich elementach obiektu: płytach, belkach i słupach. Podjęte odpowiednie działania naprawcze umożliwiły przywrócenie konstrukcji wymaganej nośności oraz sztywności. Za konieczne uznano zwiększenie zainteresowania stanem konstrukcji budowlanych przez służby utrzymania ruchu w zakładach przemysłowych.

**Abstract** In this paper the damages of about a hundred years old coal boiler reinforced concrete support structure caused by many executive falsities as well as the lack of proper supervision over the exploit object are presented. The above mentioned reasons have led to the state of emergency in the monolithic construction. A significant damages appeared in all elements of the structure: the slabs, the beams and the columns. Suitable repair actions which were taken, made it possible to restore the required load capacity and rigidity of the construction. The increase in the traffic services in industrial plants' interest in the structure's condition was judged necessary.

### **1. Wprowadzenie**

Konstrukcje wsporcze pod urządzenia technologiczne użytkowane w zakładach przemysłowych poddawane są wielu różnym oddziaływaniom. Są to często dość złożone jednoczesne obciążenia statyczne, dynamiczne, czy termiczne oraz różnego rodzaju wpływy technologiczne, w tym także destrukcyjne oddziaływania korozyjnego środowiska przemysłowego. Liczne błędy projektowe, nieprawidłowości procesów wykonawczych, różnorodność zewnętrznych wpływów, połączone często z niewłaściwą eksploatacją powodują, że konstrukcje te ulegają awariom, co wielokrotnie było tematem publikacji [1], oraz referatów przedstawianych na konferencji Awarie Budowlane [2, 3].

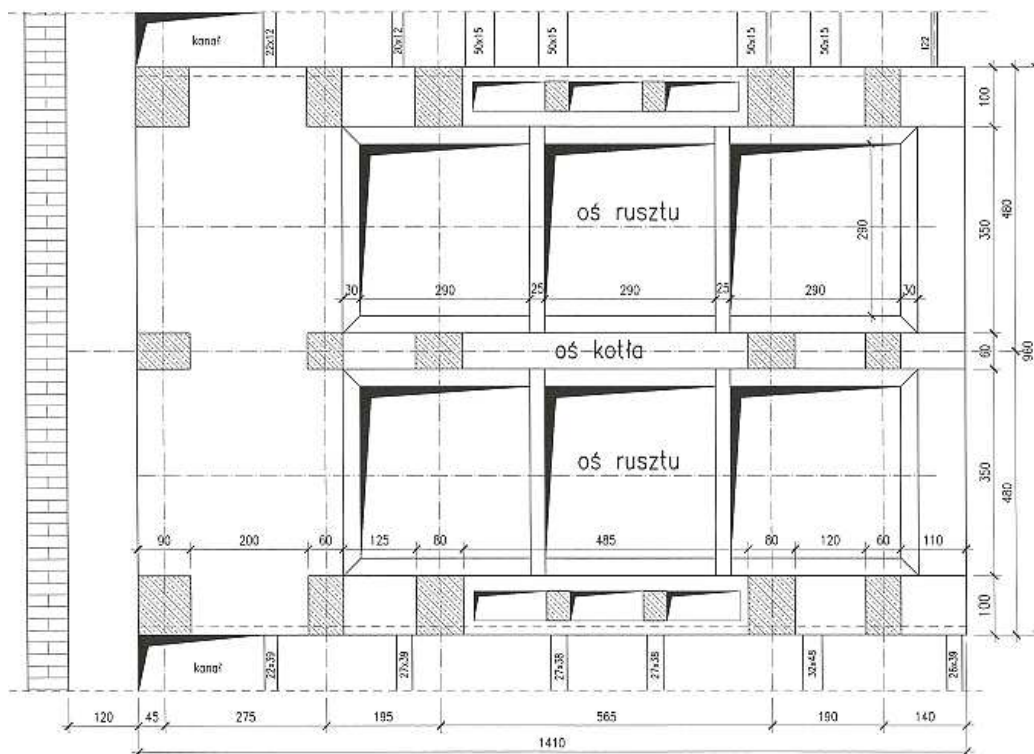
### **2. Krótki opis budynku kotłowni**

Analizowane monolityczne konstrukcje wsporcze zlokalizowane są w skrajnej części budynku głównego elektrowni, między jedną ze ścian zewnętrznych oraz wewnętrznym ciągiem komunikacyjnym. Budynek charakteryzujący się mieszaną konstrukcją powstał w I dekadzie

XX wieku. Ściany zewnętrzne wymurowano z cegły ceramicznej pełnej, a grubości ścian zróżnicowano w zależności od przenoszonych obciążeń od 1½ cegły do 2½ cegły, lokalnie stosując pilastry w miejscach występowania obciążeń skupionych. Konstrukcja główna szkieletu budynku jest stalowa, wykonana z profili walcowanych, łączonych nitami. Część stropów budynku została wykonana w monolitycznej konstrukcji żelbetowej jako układy płytowo-żelbetowe wsparte na żelbetowych słupach, inne fragmenty mają odcinkowe ceramiczne sklepienia rozpięte między walcowanymi dwuteowymi belkami stalowymi, opartymi na stalowych słupach. Konstrukcja dachu budynku jest także stalowa, ukształtowana w postaci poprzecznych nitowanych wiązarów, na których ułożone są płatwie i warstwy pokrycia dachowego.

### 3. Konstrukcje wsporcze kotłów

W kotłowni znajdują się trzy kotły do spalania węgla, oznaczone numerami 3+5 wyposażone w podwójne ruszty. Ich obudowy opierają się na żelbetowych, ramowych konstrukcjach wsporczych. Pod względem konstrukcyjnym kotły nr 4 i nr 5 oraz ich szkieletowe konstrukcje wsporcze są identyczne, natomiast kocioł nr 3 i jego konstrukcja mają całkowicie odmienne gabaryty. Ramowe konstrukcje wsporcze pod kotłami nr 4 i nr 5 mają wymiary w rzucie 9,60×14,10 m, a górą licują z poziomem stropu kotłowni +4,40 m. Każda konstrukcja wsparta jest na trzech ramach podłużnych, z których zewnętrzne mają szerokość 100 cm, natomiast środkowa 60 cm. Rozstaw osiowy ram podłużnych wynosi 4,30 m, a poszczególne słupy charakteryzują się wymiarami przekrojów poprzecznych od 60×60 cm do 100×90 cm. W kierunku równoległym do osi kotłów rozstawy między słupami są zróżnicowane i dostosowane do geometrii obudowy kotłów – w świetle między słupami wynoszą one od 1,20 m do maksymalnie 4,85 m. W tylnej części (przy zewnętrznej ścianie podłużnej budynku) dolna krawędź konstrukcji wsporczej między słupami znajduje się w poziomie około 1,50 m nad posadzką kotłowni i tam rygle zewnętrzne charakteryzują się wysokością całkowitą 2,60 m.



Rys. 1. Rzut żelbetowej konstrukcji wsporczej kotłów w budynku elektrowni

Środkowy obszar żelbetowej konstrukcji pod kotłami zajmują poprzeczne belki oraz umieszczone między nimi otwory o wymiarach 2,90×2,90 m, w których zamontowane są leje do usuwania popiołu. Do wykonania obiektów zastosowano beton o parametrach zbliżonych do najslabszego obecnie betonu konstrukcyjnego tj. B15. Zbrojenie żelbetowych przekrojów wykonano prętami gładkimi o średnicach od 12 do 25 mm, w słupach i belkach zastosowano także gładkie strzemiona z prętów o średnicy 8 mm. Na zewnętrznych krawędziach podłużnych ram konstrukcji pod kotły opierają się odcinki wewnętrznego stropu – płyta lub żebra poprzeczne. Przy kotłach płyta oraz żebra stropowe zamknięte są podciągami o szerokości 15 cm i wysokości około 50 cm, który opiera się na słupach konstrukcji pod kotły i jest od niej oddzielony dylatacją. Geometrię elementów żelbetowej konstrukcji wsporczej pod kotły przedstawiono na rysunku 1.

#### 4. Uszkodzenia żelbetowych konstrukcji

Dość zróżnicowany był stan techniczny żelbetowych ramowych konstrukcji wsporczych kotłów. Podobny zakres i charakter uszkodzeń występował pod kotłami nr 4 i nr 5, natomiast konstrukcja wsporcza kotła nr 3 wykazywała zdecydowanie mniej nieprawidłowości. Do wykonania dwóch identycznych żelbetowych konstrukcji wsporczych pod kotłami zastosowano niskiej wytrzymałości beton (obecnie oceniany na B15) oraz gładką stal zbrojeniową. Prawie wszystkie słupy podpierające te kotły miały odspojenia i ubytki otuliny betonowej na fragmentach lub całych bocznych powierzchniach (rys. 2 do rys. 5). Pozostała w niektórych miejscach otulina charakteryzowała się bardzo zróżnicowaną grubością od 1 do nawet 4 cm oraz słabą przyczepnością do podłoża – nie trzeba było specjalnego wysiłku, aby oderwać jej fragmenty od podłoża. Brak otuliny w zdecydowanej większości przypadków był spowodowany niską wytrzymałością zastosowanego w konstrukcji betonu, słabym zagęszczeniem mieszanki oraz niewłaściwym przygotowaniem deskowania. Można przypuszczać, że przed betonowaniem konstrukcji nie nawilżono wystarczająco deskowania, przez co przylegające do świeżego betonu deski odebrały wodę znajdującą się w mieszance betonowej, niezbędną do wiązania cementu. Spowodowało to nie tylko obniżenie wytrzymałości zewnętrznych warstw betonu konstrukcji, ale także słabą szczelność betonowej otuliny, która w wielu miejscach odpadła i nie była w stanie zapewnić skutecznej i trwałej ochrony antykorozyjnej prętom zbrojenia znajdującym się w przekrojach poszczególnych elementów ramowej konstrukcji.



Rys. 2. Słupy konstrukcji wsporczej pod kotły – ubytki otuliny na znacznych powierzchniach, brak strzemion, korozja odsłoniętych prętów zbrojenia



Rys. 3. Uszkodzenia bocznych powierzchni słupów oraz rygli ram – słaba przyczepność betonowej otuliny, nieprawidłowe rozstawy prętów w słupach

Wilgoć i powietrze przedostające się przez zarysowania i pęknięcia występujące w otulinie powodowały rozwój procesów korozyjnych stali zbrojeniowej. Powstające produkty korozji (głównie uwodnione tlenki żelaza) zwiększając kilkakrotnie swoją objętość przyczyniały się do odpadania poszczególnych fragmentów otuliny, doprowadzając obiekty do obecnego stanu. Ponadto na niektórych powierzchniach słupów stwierdzono nieprawidłowe rozmieszczenie prętów zbrojenia (rys. 2, rys. 3 – słupy w głębi), które były usytuowane zbyt blisko siebie, uniemożliwiając skuteczne połączenie otuliny z betonem rdzenia słupów. Obecnie wiadomo, że w takich przypadkach pręty należy umieszczać w dwóch rzędach.



Rys. 4. Przerwane strzemiona w słupie, dolne pręty rygli zakotwione nieprawidłowo w otulinie słupa



Rys. 5. Boczna powierzchnia rygla podłużnego – przerwane i dość rzadko rozmieszczone strzemiona

Podobny charakter uszkodzeń występował na podłużnych i poprzecznych ryglach ram (rys. 2 do rys. 6) w konstrukcjach wsporczych obu kotłów. Pręty zbrojenia głównego oraz strzemiona były na wielu odcinkach odkryte, lokalnie doszło już do zmniejszenia przekroju czynnego zbrojenia głównego o około 20%, a część strzemion była przerwana (rys. 5). Na niektórych powierzchniach rygli widoczne były nieprawidłowo rozmieszczone pręty zbrojenia, które zakotwiono w słupach po zewnętrznej stronie strzemion, czyli w otulinie zamiast w rdzeniu słupa (rys. 4). Korodujące strzemiona usytuowane pod bardzo cienką warstwą otuliny betonowej na niektórych bocznych powierzchniach rygli od strony wewnętrznych lejów ujawniły się powodując zarysowania otuliny (rys. 6).



Rys. 6. Boczna powierzchnia wewnętrznego rygla – zarysowania otuliny w miejscach strzemion, lokalne ubytki i wykruszenia betonu



Rys. 7. Dolna powierzchnia konstrukcji wsporczej kotła przy lejach do odprowadzania popiołu – odkryte zbrojenie, korozja stalowych elementów

Nie były wolne od wad także dolne powierzchnie płyt występujących między dwoma ostatnimi rzędami słupów (przy ścianie). Już samo ich ukształtowanie budziło obawy – spód płyt nie był bowiem poziomy lecz dość znacznie obniżony w środkowych strefach (rys. 7). Trudno było ustalić, czy taki kształt nadano konstrukcji specjalnie ze względu na usytuowanie otworów wyczystkowych, czy też zastosowane podczas budowy podpory montażowe podtrzymujące deskowanie nie wytrzymały występujących obciążeń i uległy deformacji. Stan techniczny dolnej powierzchni płyt w konstrukcjach pod kotłami nr 4 i nr 5 był dość podobny – występowały ubytki otuliny, odsłonięte pręty zbrojenia wykazywały znaczne zaawansowanie procesów korozyjnych, a przez płytę przedostawała się woda powodując wypłukiwanie z betonu związków wapnia, które krystalizowały w postaci białego nalotu. Stalowe leje przymocowane do płyt były również mocno skorodowane (rys. 7).

Na podstawie przeprowadzonej oceny stanu technicznego elementów żelbetowych konstrukcji pod kotłami stwierdzono, że obiekty te wymagają naprawy, a dalsze ich użytkowanie bez jakiegokolwiek ingerencji może doprowadzić do powstania stanu awaryjnego.

## **5. Ocena przyczyn złego stanu technicznego żelbetowych konstrukcji**

Niedomagania występujące w elementach konstrukcyjnych obiektów budowlanych mają swoje źródła w błędach popełnionych na etapie projektowania, nieprawidłowej realizacji lub niewłaściwej eksploatacji obiektów. W omawianym przypadku, jako błąd projektowy można uznać przyjęcie niskich klas betonu w konstrukcjach żelbetowych stropu. Pewnym usprawiedliwieniem może być fakt, że w okresie wykonywania budynku nie były powszechnie znane konsekwencje takich założeń i nie było praktycznie żadnych doświadczeń w dziedzinie długotrwałej odporności betonu na wpływy środowiska produkcyjnego. Znajomość początkowej wytrzymałości betonu na ściskanie i stali zbrojeniowej na rozciąganie zdawały się być wystarczającymi parametrami do zaprojektowania dowolnej konstrukcji żelbetowej.

Sporo błędów popełniono w trakcie realizacji budynku przy wykonywaniu konstrukcji żelbetowych. Najważniejsze nieprawidłowości, które wystąpiły podczas tych robót to:

- zbyt mała grubość betonowej otuliny na dolnej i bocznych powierzchniach elementów,
- brak równych dystansów między zbrojeniem a wewnętrzną powierzchnią deskowania,
- nieprawidłowe rozmieszczenie prętów zbrojenia w przekroju (zbyt blisko siebie),
- brak intensywnego nawilżenia deskowania przed betonowaniem,
- niewłaściwe zagęszczenie mieszanki betonowej (lub brak) po zabetonowaniu,
- brak właściwej pielęgnacji świeżego betonu w początkowym okresie wiązania cementu.

Skutki tych błędów nie ujawniają się natychmiast, lecz dopiero po pewnym czasie, który zależy w znacznym stopniu od warunków, w jakich znajduje się konstrukcja – np. wilgotność, temperatura, wahania tych parametrów w czasie oraz przede wszystkim kontakt z wodą zarówno technologiczną (nieszczelności instalacji), jak i powszechnie stosowaną w znacznych niekiedy ilościach do zmywania powierzchni stropów. Obserwacje poczynione w wielu zakładach przemysłowych potwierdzają, że długotrwałe oddziaływanie wody na elementy żelbetowe powoduje wiele niekorzystnych zjawisk, które ograniczają wytrzymałość, obniżają trwałość tych konstrukcji i powodują nierzadko ich poważne uszkodzenia.

Znaczna część nieprawidłowości, występujących aktualnie w budynku, nie wynikała jednak z naturalnego zużycia, będącego następstwem starzenia się zastosowanych materiałów, lecz z braku należytej dbałości o obiekt w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat. W wielu zakładach przemysłowych nie udało się dotychczas wykształcić powszechnych nawyków dokonywania drobnych napraw konstrukcji budowlanych w momencie pojawiania się pierwszych symptomów negatywnych zjawisk. Zazwyczaj czeka się, aż zakres uszkodzeń jest już

tak poważny, że dochodzi do stanów awaryjnych. Zdecydowanie lepiej wygląda dbałość o stan techniczny maszyn, urządzeń oraz instalacji technologicznych, a niestety nadal bardzo często można spotkać przykłady przyspieszonego niszczenia elementów budowlanych w następstwie nieszczelności rurociągów, zbiorników lub nieprawidłowo podłączonych przewodów do urządzeń. Konstrukcje budowlane są bardzo często traktowane przez użytkowników jako niezniszczalne i wiecznie trwałe, choć z drugiej strony powszechnie wiadomo, że każdy materiał także budowlany ma swoją ograniczoną wytrzymałość i podlega procesom starzenia. Analizowane obiekty powstały około 100 lat temu, natomiast w latach powojennych praktycznie nie były wykonywane żadne prace remontowe – elektrownia miała przy możliwie małych nakładach produkować energię, której wciąż brakowało. W okresie przeprowadzania oceny żelbetowych konstrukcji pod kotły węglowe, stan techniczny wielu innych obiektów budowlanych eksploatowanych na terenie elektrowni znacznie odbiegał od zadowalającego [4].

## **6. Naprawa żelbetowych konstrukcji wsporczych**

Z uwagi na zły stan techniczny konstrukcji wymagane było przeprowadzenie natychmiastowej, kompleksowej naprawy. W tym przypadku konieczne było odtworzenie skorodowanego zbrojenia, wzmocnienie betonu w elementach konstrukcji i jego trwałe zabezpieczenie przed wpływami otoczenia. Po udostępnieniu konstrukcji ekipie budowlanej podjęto najpierw czynności przygotowawcze polegające na:

- usunięciu popękanej, częściowo odspojonej i głuchej przy opukiwaniu młotkiem otuliny betonowej na powierzchniach płyt, żeber, podciągów i słupów stropu;
- skuciu i usunięciu wszystkich luźnych fragmentów betonu w elementach obiektu;
- oczyszczeniu prętów zbrojenia głównego oraz strzemion z produktów korozji przy zastosowaniu piaskowania lub szczotek drucianych;
- oczyszczeniu z produktów korozji pozostałych elementów stalowych trwale połączonych z konstrukcją żelbetową (belki, wsporniki, wieszaki itp.);
- usunięciu produktów korozji z betonowych powierzchni (wykwity, nacieki, sople węglanu wapnia) przy zastosowaniu piaskowania lub szczotek drucianych;
- osuszenie nadal wilgotnych powierzchni stropu przy zastosowaniu nagrzewnic.

Przystąpiono do wzmocniania i właściwej naprawy poszczególnych elementów żelbetowej konstrukcji. Prace te obejmowały kolejno:

- uzupełnienie skorodowanego zbrojenia w płytach pod kotłami przy zastosowaniu prętów zbrojeniowych o średnicy 12 mm, które wklejono na żywicę w wykonanych na końcach przęseł płyty ukośnych, oczyszczonych sprężonym powietrzem nawierceniach w słupach lub spawano do pozostałego zbrojenia konstrukcji; ilość prętów określano indywidualnie dla każdego pola płyty regulując rozstawem prętów (rys. 8);
- naprawę skorodowanych strzemion polegającą na połączeniu prętów dolnego zbrojenia płyty z pionowymi prętami wklejonymi w górną część belki od strony zewnętrznej (gdy płyta dołem licowała z belkami) lub obustronnym ukośnym wklejeniu w boczne powierzchnie rygła nowych strzemion o średnicy 8 mm w belkach, w których taka operacja była możliwa;
- naprawę niewielkich ubytków betonu w płytach, belkach i słupach przy zastosowaniu systemowych kompozycji cementowych z dodatkiem polimerów (PCC), które nakładano po wcześniejszym pokryciu zabezpieczanej powierzchni preparatami gruntującymi; do przygotowania materiałów stosowano dokładne wagowe dozowanie poszczególnych składników, zwracając uwagę na terminy ważności, czystość używanych pojemników, stosowanych narzędzi i lokalne warunki występujące w miejscu aplikacji;

- naprawę większych ubytków betonu w dolnych odcinkach słupach zrealizowano metodą iniekcji żywic epoksydowych z wypełnieniem wolnych przestrzeni kruszywem bazaltowym (rys. 9) z uwagi na zdecydowanie większe narażenie tych obszarów na intensywne zawilgocenia występujące podczas eksploatacji;



Rys. 8. Uzupełnianie dolnego zbrojenia płyty przy lejach do odprowadzania popiołu



Rys. 9. Dolne odcinki słupów po oczyszczeniu i uzupełnieniu kompozycjami żywicznymi

- naprawę pęknięć i zarysowań betonu w płytach, belkach i słupach wykonano metodą iniekcji żywic epoksydowych, po starannym usunięciu wszystkich luźnych fragmentów betonu, oczyszczeniu dostępnych powierzchni sprężonym powietrzem, osuszeniu i uszczelnieniu kitem epoksydowym, w którym osadzono rurki zalewowe; iniekcję prowadzono po sprawdzeniu drożności instalacji ciśnieniowej;
- po sprawdzeniu nośności przekrojów rygli podłużnych i poprzecznych nie stwierdzono braku przekroju zbrojenia mimo częściowej redukcji wynikającej z powierzchniowej korozji; w tej sytuacji nie było konieczności uzupełniania zbrojenia głównego.



Rys. 10. Ramowa konstrukcja wsporcza pod kotły po przeprowadzonej naprawie oraz nowa instalacja technologiczna do odprowadzania popiołu



Rys. 11. Słupy i rygle żelbetowej konstrukcji ramowej po kompleksowym wykonaniu prac naprawczych

Podczas prowadzenia prac naprawczych żelbetowej konstrukcji wymieniono także wszystkie nieprawidłowo wykonane podwieszenia instalacji (drabinki kablowe lub przewody technologiczne), a po wykonaniu prac naprawczych wzmocnione obszary zabezpieczono powierzchniowo przed wpływem zawilgocenia. Widok żelbetowych konstrukcji wsporczych kotłów węglowych po wykonaniu prac remontowych (budowlanych oraz technologicznych)

przedstawiają ostatnie ujęcia (rys. 10 i rys. 11). Oba obiekty są ponownie eksploatowane od ponad trzech lat i na razie na dostępnych powierzchniach poszczególnych elementów nie widać żadnych niekorzystnych objawów (zarysowań, odspojień, czy innych uszkodzeń).

## **7. Wnioski końcowe**

Przeprowadzone szczegółowe pomiary inwentaryzacyjne i badania makroskopowe żelbetowych konstrukcji wsporczych kotłów węglowych użytkowanych w budynku elektrowni prowadzą do następujących spostrzeżeń:

- występujące w żelbetowych elementach obiektu daleko zaawansowane procesy niszczenia betonu oraz stali zbrojeniowej doprowadziły do stanu zagrożenia, który mógł zakończyć się w każdej chwili poważną awarią, prowadzącą do wyłączenia z pracy nie tylko kotła, ale również turbiny w elektrowni;
- stan ten spowodowany był w znacznym stopniu błędami wykonawczymi, do których doszło na skutek nieprawidłowego zbrojenia, betonowania oraz pielęgnacji konstrukcji ramowej, jak również z powodu braku należytej dbałości o stan techniczny obiektu w okresie wieloletniej eksploatacji;
- zastosowane znaczne wymiary przekrojów poszczególnych elementów oraz wynikające stąd zapasy nośności żelbetowej konstrukcji umożliwiły około stuletnią eksploatację obiektu i zapobiegły powstaniu wcześniej awarii;
- podjęte działania naprawcze zatrzymały rozwój procesów destrukcyjnych w betonie oraz stali zbrojeniowej i pozwoliły na przywrócenie poszczególnym elementom konstrukcji nośności i sztywności zbliżonych do występujących w początkowym okresie funkcjonowania przemysłowego obiektu;
- za najważniejszy wniosek końcowy uznać należy bezwzględnie konieczność zwiększenia „czujności” służb zakładowych odpowiedzialnych za stan techniczny konstrukcji budowlanych eksploatowanych na terenie elektrowni.

## **Literatura**

1. Wegner A.: Błędy i niedociągnięcia wykonawstwa żelbetowych fundamentów pod turbozespoły. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 2/1979.
2. Wegner A., Dembiński M., Józefowicz B.: Uszkodzenia konstrukcji wsporczych pod elektrofiltry. Konferencja Naukowo – Techniczna Awarie Budowlane, Szczecin – Międzyzdroje 1995.
3. Ajdukiewicz A., Hulimka J., Dawczyński Sz., Kałuża M.: Uszkodzenia fundamentów transformatorów dużej mocy – zagrożenia zanieczyszczenia środowiska. Konferencja Awarie Budowlane, Szczecin – Międzyzdroje 2005.
4. Dembiński M.: Uszkodzenia i naprawa żelbetowego stropu żebrowego w budynku kotłowni. II Konferencja Naukowa Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych. Poznań 2008.

Praca powstała w ramach tematu badawczego 11-038/2009 (DS) Politechniki Poznańskiej