LESZEK SZOJDA, *leszek.szojda@polsl.pl*
GRZEGORZ WANDZIK, *grzegorz.wandzik@polsl.pl*
RYSZARD MAĆKOWSKI, *ryszard.mackowski@polsl.pl*
Katedra Inżynierii Budowlanej, Politechnika Śląska

# PRZYCZYNY POWSTANIA ORAZ SPOSÓB NAPRAWY USZKODZEŃ ŻELBETOWEJ WIEŻY SZYBOWEJ

## REINFORCED CONCRETE HEADFRAME – CAUSES OF DAMAGES AND METHODS OF THEIR REPAIR

**Streszczenie:** Referat poświęcony jest ocenie stanu technicznego żelbetowej wieży wyciągowej zbudowanej prawie 50 lat temu. Decyzja o przywróceniu obiektu do eksploatacji po kilkuletniej przerwie stała się przyczyną opracowania opinii technicznej. Jej głównym celem była ocena stopnia degradacji materiałów i identyfikacja uszkodzeń wraz ze wskazaniem możliwości wykonania napraw. W konstrukcji wykorzystano betony na różnych kruszywach. W związku z występowaniem agresywnych czynników istotnym elementem oceny był stopień degradacji betonu (stopnień karbonatyzacji, jej zasięg oraz zawartość jonów chlorkowych i siarczanowych), który zależał od składu betonu. W referacie opisano również najistotniejsze rodzaje uszkodzeń, będące efektem przeszłych wpływów oraz wnioski wynikające z wieloletnich obserwacji obiektu. W podsumowaniu podano zalecone sposoby napraw.

**Abstract:** Paper is dedicated to technical assessment of reinforced concrete headframe constructed almost 50 years ago. Decision of structure restoration after few years of limited use was a base of elaboration of technical assessment. Materials deterioration and identification of existing damages, as well as methods of their repair was the main aim of the assessment. Various parts of structure were erected with use of concretes differs with the aggregate type. Existence of aggressive compounds makes that evaluation of degree of concrete deterioration (degree of carbonatation and its depth, chloride and sulphate ions content) with regard to aggregate type was essential for the final assessment. In this paper, the most important types of damages, being effect of past influences, as well as conclusions of long-term observations of structure were presented. Recommended methods of repair summarized text of the paper.

## 1. Wprowadzenie

Pomimo znacznego ograniczenia nakładów na rozwój przemysłu ciężkiego, a zwłaszcza na górnictwo węgla kamiennego, nie maleje potrzeba pozyskiwania tego surowca. Dążąc do minimalizacji kosztów widoczna jest tendencja do remontowania istniejących obiektów, która przeważa nad inwestycjami w obiekty nowe. Istnieją przykłady, gdy inwestor decyduje się na przywrócenie funkcjonowania obiektów, które zostały wcześniej czasowo wyłączone z eksploatacji. W niniejszym referacie przedstawiono żelbetową basztową wieżę szybową, która została wyłączona z intensywnego wykorzystania około 7 lat temu. Inwestor w związku z planowaną reorganizacją funkcjonowania zakładu zamierza wykorzystywać wieżę szybową do transportu pionowego materiałów i urządzeń. Planowane jest zabudowanie nowej maszyny wyciągowej o zwiększonym udźwigu przy równoczesnym zmniejszeniu intensywności jej wykorzystywania w porównaniu do okresu przed 2005 rokiem. Realizacja zamierzeń wiąże się z koniecznością oceny aktualnego stanu technicznego obiektu, określenia zakresu napraw

uszkodzonych elementów oraz analizy możliwości adaptacji istniejącej konstrukcji do nowych obciążeń. W referacie przedstawiono obserwacje wynikające z badań przeprowadzonych w ramach oceny stanu technicznego konstrukcji.

## 2. Opis konstrukcji wieży szybowej

Wieża wyciągowa została zaprojektowana w pierwszej połowie lat 60-tych XX wieku i wzniesiona w latach 1964÷65. Była ona intensywnie wykorzystywana do 2005 roku i w tym czasie pełniła funkcję szybu wydobywczego. Aktualnie jest utrzymywana w sprawności technicznej, jednak wykorzystywana jest tylko sporadycznie.

Obiekt jest wieżą typu basztowego wykonaną z żelbetu. Ma on rzut o stałych wymiarach wynoszących w obrysie zewnętrznym 14,40×18,00 m. Całkowita wysokość obiektu wynosi 62,35 m. Wieża posadowiona jest na skrzyni fundamentowej o wysokości 6,0 m i wymiarach rzutu wynoszących w obrysie 22,00×25,50 m. Podparcie nadziemnej części konstrukcji na fundamencie zrealizowano jako przegubowe. Sposób zaprojektowania fundamentu uwzględniał możliwość ewentualnej rektyfikacji obiektu. Nadziemna część konstrukcji została wykonana jako ścianowa w technologii deskowań ślizgowych. Grubość ścian jest zróżnicowana i wynosi:

– 50 cm – wszystkie ściany w dolnej części obiektu (do poziomu stropu +15,50 m),
– 35 cm – ściany o długości 18,00 m w górnej części obiektu (powyżej stropu +15,50 m),
– 30 cm – ściany o długości 14,40 m w górnej części obiektu (powyżej stropu +15,50 m).

Rys. 1. Widok ogólny wieży wyciągowej

Maszyna wyciągowa zlokalizowana jest w centralnej części wieży na stropie w poziomie +50,50 m. W obiekcie znajduje się łącznie 8 stropów (włącznie ze stropem na poziomie ±0,00 m). Stropy obejmują swym zasięgiem całą powierzchnię rzutu. Wyjątek stanowi strop

w poziomie +9,25 m, który znajduje się jedynie na części rzutu w sąsiedztwie ściany południowo – zachodniej. Stropy płytowo – belkowe z dwukierunkowym układem belek nośnych oparte są na ścianach zewnętrznych. Wysokość głównych belek żelbetowych podpierających maszynę wyciągową wynosi 4,20 m (strop w poziomie +50,50 m). Ogólny widok wieży pokazano na rysunku nr 1.

Zgodnie ze szczątkowymi informacjami projektowymi[1], konstrukcję wykonano z betonu klasy $R_w$ = 170 kG/cm$^2$, a zbrojenie główne ze stali klasy A-II, natomiast silnie obciążone belki główne pod maszyną wyciągową wykonane zostały z betonu o wyższej wytrzymałości ($R_w$ = 300 kG/cm$^2$).

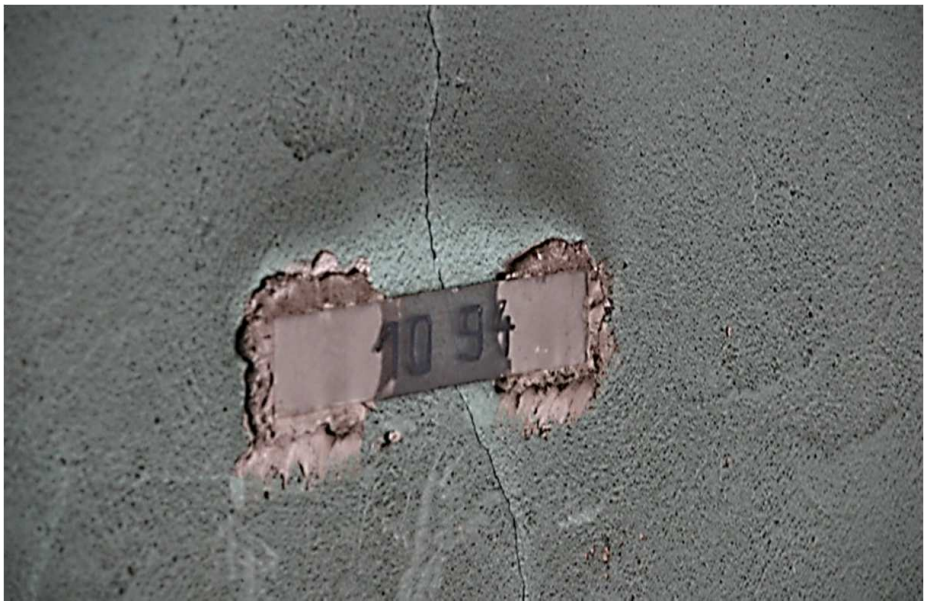
## 3. Uszkodzenia konstrukcji wieży

W okresie pięćdziesięcioletniej eksploatacji wieża wyciągowa była przedmiotem kilku przeglądów i ekspertyz. W ramach ekspertyz z końca lat 70-tych wykonane zostały badania i sprawdzające obliczenia dynamiczne. Na początku lat 90-tych w obiekcie założono plomby w miejscach zauważonych pęknięć. Żadne opracowania z tego okresu nie zostały zachowane. Kolejne badania obiektu zostały przeprowadzone przez autorów referatu w 2012 roku.

W wyniku przeprowadzonego przeglądu obiektu stwierdzono występowanie uszkodzeń konstrukcji. Ze względu na ich specyfikę wyróżniono następujące grupy uszkodzeń:

– zarysowania ścian wieży,
– zarysowania elementów konstrukcyjnych stropów (belek i płyt stropowych),
– uszkodzenia powierzchniowe elementów betonowych wynikające z odspajania się otuliny,
– obniżenie odczynu pH powierzchniowych warstw betonu oraz podwyższoną zawartość chlorków i siarczanów (opisane w punkcie 4).

Ze względu na specyfikę konstrukcji stwierdzono, że największe zagrożenie stanowią zarysowania ścian konstrukcyjnych wieży. Dla odtworzenia pełnej nośności obiektu konieczna jest ich naprawa.




Rys. 2. Przykład pionowej rysy w ścianie wieży wraz z nieuszkodzoną plombą szklaną

Zarysowania wewnętrznych powierzchni ścian wieży występują z największą intensywnością w górnej części obiektu. Stwierdzone rysy mają przebieg zarówno pionowy, jak i poziomy.

W ogólnym obrazie dominują jednak te pierwsze. Rozwartość rys dochodzi w skrajnych przypadkach nawet do 1,5 mm. Nie stwierdzono faktu, czy rysy są skrośne, jednak na podstawie wykonanych odwiertów w miejscach występowania zarysowań oceniono, że penetrują one prawie na całą grubość ścian. W miejscach uszkodzeń, gdzie widoczne było zbrojenie nie stwierdzono wżerów, a korozja była jedynie powierzchniowa. Ze względu na ograniczenia objętościowe referatu pominięto rysunki szczegółów konstrukcyjnych.

Czas powstania zarysowań jest trudny do dokładnego określenia. Nie ma jednak żadnej wątpliwości, że powstały one wiele lat temu. W ekspertyzach [2] i [3] z 1979 roku zwrócono na nie szczególną uwagę i zalecono ich usunięcie. W wyniku aktualnie przeprowadzonych oględzin nie stwierdzono miejsc napraw ścian, a jedynie odnotowano założenie szeregu plomb szklanych. Prawdopodobny czas ich założenia to lata 1991÷1994. Stwierdzono, że plomby nie zostały naruszone przez okres 20 lat, co wskazuje, że proces rozwoju rys zakończył się. Przykład pionowej rysy wraz z założoną plombą szklaną pokazano na rysunku nr 2.

Prawdopodobna przyczyna powstania zarysowań ścian jest następująca. Konstrukcja ścian wykonywana była w technologii ślizgowej, a więc układanie mieszanki betonowej odbywało się warstwami. Zarysowania poziome pojawiają się w miejscach połączenia betonu o różnym wieku. Odległość pomiędzy poziomymi rysami na kondygnacji +50,50 m dochodzi do około 5 m. Odpowiada to wysokości warstwy układanej mieszanki betonowej. Równomierny charakter rys pionowych odpowiada natomiast zjawisku skurczu betonu. Widać to wyraźnie na fragmentach ścian pomiędzy stropami. Intensywność zarysowań jest podobna na całej wysokości ściany. Rysy wykazują największą rozwartość w środkowej partii ściany pomiędzy stropami i zanikają w miejscu połączenia ściany ze sztywną tarczą stropu.

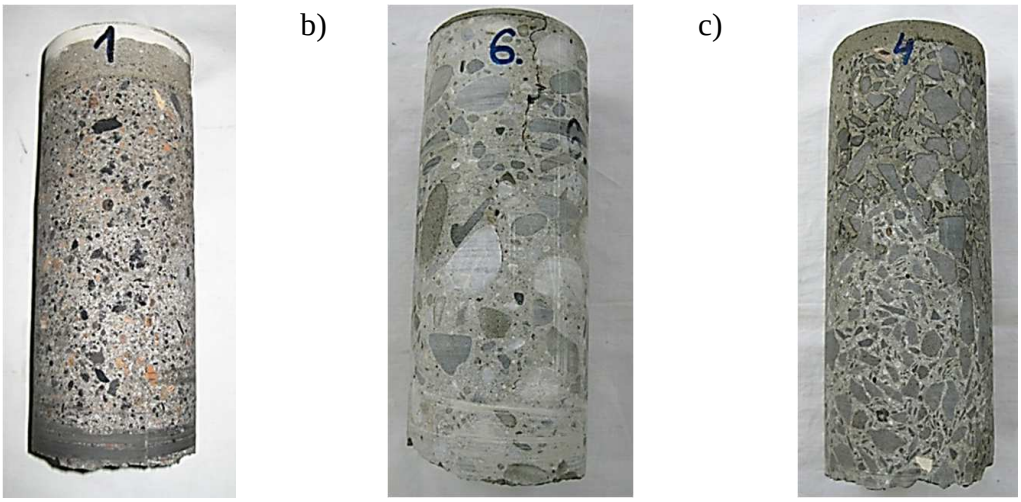
## 4. Badania betonu konstrukcji wieży

W celu stwierdzenia stanu betonu w konstrukcji przeprowadzono badania, które częściowo wykonano na obiekcie, a częściowo w laboratorium. Obejmowały one:

- określenie wytrzymałości na ściskanie oraz klasy betonów na podstawie badań niszczących wykonanych na pobranych próbkach rdzeniowych,
- określenie wytrzymałości na odrywanie metodą „pull-off” w celu stwierdzenia możliwości wykonania reprofilacji,
- wykonanie badań chemicznych betonu, na które składały się ocena odczynu pH betonu i grubości warstwy o obniżonym odczynie oraz określenie zawartości jonów siarczanowych i chlorkowych,
- ogólną ocenę stanu elementów wykonanych z betonu oraz korozji stali zbrojeniowej.

Z elementów żelbetowych konstrukcji w poziomach od +15,50÷+50,50 m wycięto 12 próbek rdzeniowych o średnicy 98 mm. Na próbkach wykonano badania wytrzymałości betonu na ściskanie oraz badania chemiczne. W wyniku przeprowadzonych oględzin rdzeni stwierdzono, że w konstrukcji zastosowano trzy rodzaje betonu różniące się rodzajem wykorzystanego kruszywa. Największa część konstrukcji wykonana jest z betonu żwirowego. Występuje on w ścianach i stropach do poziomu +50,50 m (z wyłączeniem tego stropu). Beton z kruszywem łupkoporytowym zastosowano jedynie w ścianach znajdujących się ponad stropem w poziomie +50,50 m. Beton na kruszywie bazaltowym występuje w belkach i płytach tego najsilniej obciążonego stropu. Na rysunku 3 pokazano przykładowe fotografie pobranych rdzeni.

a) b) c)




Rys. 3. Rdzenie betonowe wycięte z konstrukcji wieży. Od lewej beton z kruszywem: a) łupkoprytowym; b) żwirowym; c) bazaltowym.

### 4.1. Określenie wytrzymałości na ściskanie

Podczas przeglądu konstrukcji przeprowadzono badania sklerometryczne wytrzymałości betonu, jednak podstawowym źródłem informacji były badania bezpośrednie wykonane na pobranych próbkach walcowych. W badaniach niszczących walców (po przeliczeniu wyników na standardowe próbki) uzyskano następujące wytrzymałości na ściskanie oraz klasę (według [4]):

– Beton z kruszywem łupkoporytowym w ścianach zewnętrznych od poziomu +50,50 m w górę: $f_{cm,cyl}$ = 22,5 MPa, $f_{cm,cube}$ = 26,5 MPa, klasa LC20/22
– Beton z kruszywem bazaltowym w belkach pod maszyną wyciągową: $f_{cm,cyl}$ = 40,1 MPa, $f_{cm,cube}$ = 47,2 MPa, klasa C30/37
– Beton z kruszywem żwirowym w ścianach zewnętrznych od poziomu 0 do poziomu +50,50 m: $f_{cm,cyl}$ = 22,9 MPa, $f_{cm,\,cube}$ = 26,9 MPa, klasa C16/20

W każdym z wymienionych wyżej przypadków wytrzymałość betonu na ściskanie jest większa od przyjętej w projekcie.

### 4.2. Określenie wytrzymałości na odrywania metodą „pull-off”

W celu stwierdzenia możliwości naprawy betonu poprzez reprofilację przeprowadzono badania wytrzymałości betonu na odrywanie metodą „pull-off”. Do badań wykorzystano urządzenie DYNA Z-15 firmy PROCEQ i za jego pomocą uzyskano następujące wytrzymałości betonów na odrywanie:

– Beton z kruszywem łupkoporytowym: $R_{pśr}$ = 2,7 MPa,
– Beton z kruszywem żwirowym: $R_{pśr}$ = 3,7 MPa,
– Beton z kruszywem bazaltowym: $R_{pśr}$ = 5,3 MPa.

Ponieważ wytrzymałość na odrywanie jest większa niż 1,5 MPa, stwierdzono więc że możliwe będzie wykonanie naprawy przez reprofilację.

### 4.3. Badania chemiczne betonu

W ramach badań chemicznych betonu oceniono stopnień skarbonatyzowania (głębokość zobojętnienia na podstawie oznaczonego odczynu pH) oraz zawartość siarczanów. Dodatkowo oznaczono zawartość chlorków w próbkach pobranych z powierzchni belki oraz ściany

z konstrukcji poniżej najwyższego stropu (poz. +50,50 m). Szczególną uwagę zwrócono na elementy, które w trakcie eksploatacji szybu zostały częściowo pokryte zanieczyszczoną wodą narzuconą z lin maszyny wyciągowej. Z wyciętych rdzeni pobrano do badań chemiicznych przypowierzchniowe plastry betonu o grubości do 40 mm.

Betony w ścianach zewnętrznych oraz belkach pod maszyną wyciągową wykazują odczyn alkaliczny, którego pH mieści się w przedziale od 10,2÷12,2 na głębokości 25÷40 mm. Jedynie w warstwach przypowierzchniowych o grubości 20÷25 mm odczyn pH był niższy i wahał się od 8,9÷10,4 w zależności od miejsca pobrania próbki.

Rys. 4. Karbonatyzacja betonu na kruszywie łupkoporytowym oznaczona za pomocą fenoloftaleiny

Zawartość siarczanów określana w spoiwie betonu pobranego z żelbetowych konstrukcji wynosi od 0,98÷2,12%. Stwierdzona zawartość siarczanów konstrukcji wieży nie stwarza zagrożenia korozyjnego dla betonu. Zawartość chlorków w spoiwie betonu pobranego z powierzchni ściany na poziomie +44,25 m, częściowo pokrytej substancją narzuconą z lin maszyny wyciągowej wynosi 0,21%. Zgodnie z wymaganiami normy [4] maksymalna zawartość chlorków spoiwie betonu nie powinna przekraczać 0,40%. Zawartość chlorków w spoiwie betonu pobranego z tego miejsca nie przekracza dopuszczalnej wartości. Podczas badań stwierdzono większą grubość warstw skarbonatyzowanych w betonie na kruszywie łupkoporytowym. Zawierały one również większą ilość jonów siarczanowych. Skrócone podsumowanie wyników badań chemicznych przedstawia Tablica 1.

Tablica 1. Zestawienie wyników badań betonu z żelbetowej konstrukcji wieży

| **Element/poziom** | **Beton** | | **Wytrzymałość na odrywanie $R_p$ [MPa]** | **Grubość warstwy skarbonatyzowanej** | **Zawartość w spoiwie** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **$f_{c,cyl}$ [MPa]** | **Klasa** | | | **$SO_4^{2-}$ [%]** | **$Cl^-$ [%]** |
| ściany zewnętrzne powyżej +50,50 m | 22,5 | LC20/22 | 2,7 | 30÷40 mm | 2,02 | — |
| ściana zewnętrzna +44,25 m | 20,8 | C16/20 | 3,9 | 15÷25 mm | 1,64 | 0,21 |
| belka stropowa +44,25 m | 41,0 | C30/37 | 5,3 | 12÷20 mm | 1,49 | 0,02 |
| ściany zewnętrzne do 36,75 m | 23,2 | C16/20 | 3,7 | 10÷40 mm | 1,52 | — |

## 5. Zakres i technologia napraw konstrukcji ścian

Na podstawie dokonanego przeglądu konstrukcji wieży oraz wykonanych badań na obiekcie i w laboratorium stwierdzono, że stopień degradacji elementów konstrukcji nie dyskwalifikuje możliwości wykonania naprawy obiektu i zalecono wykonanie następujących prac remontowych:

– Naprawę obydwu powierzchni ścian zewnętrznych obejmującą usuniecie uszkodzonych fragmentów, iniekcję rys i pęknięć oraz reprofilację skutych powierzchni;
– Odkucie uszkodzonego i zasolonego betonu z konstrukcji stropu poniżej maszyny wyciągowej oraz przyległych ścian zewnętrznych i belek, a następnie odtworzenie (reprofilacja) odkutych powierzchni cementowo-polimerowymi masami naprawczymi;
– Impregnację zewnętrznej powierzchni ścian wieży preparatem hydrofobowym oraz nałożenie paroprzepuszczalnej i ograniczającej karbonatyzację powłoki malarskiej;
– Impregnację preparatem hydrofobowym konstrukcji stropu poniżej maszyny wyciągowej oraz nałożenie powłoki chemoodpornej w celu zabezpieczenia przed rozbryzgami zasolonych roztworów wodnych z lin maszyny wyciągowej.

Technologia naprawy ścian powinna obejmować obustronną naprawę ścian wieży, którą należy wykonać w następujący sposób:

– Skuć osłabiony lub częściowo odspojony betonu z obydwu stron ścian zewnętrznych aż do uzyskania powierzchni wykazującej wytrzymałość na odrywanie około 1,5 MPa;
– Odkuć beton dookoła odsłoniętych i skorodowanych wkładek zbrojeniowych;
– Oczyścić odkutą powierzchnię betonu oraz skorodowane wkładki zbrojeniowe przez piaskowanie;
– Zainiektować rysy pionowe kompozycją epoksydową w celu ponownego uzyskania monolitu;
– Zainiektować kompozycją cementowo-polimerową rozwarstwienia betonu w miejscach przerw w betonowaniu (szczeliny poziome);
– Nałożyć na odsłonięte i oczyszczone wkładki zbrojeniowe powłokę zabezpieczającą przed korozją;
– Zwilżyć oczyszczone powierzchnie strumieniem wody pod ciśnieniem,
– Wykonać reprofilację (odtworzenie) odkutych powierzchni naprawczą zaprawą cementowo-polimerową lub betonem natryskowym po uprzednim nałożeniu warstwy sczepnej (w przypadku zastosowania betonu natryskowego konieczne jest wyrównanie jego powierzchni tzw. baranka zaprawą cementowo-polimerową);
– Zaimpregnować całą zewnętrzną powierzchni ścian bocznych wieży preparatem hydrofobowym.

Tak naprawiona powierzchnia ścian zewnętrznych wieży wyciągowej będzie zróżnicowana kolorystycznie. W celu uzyskania korzystnego efektu wizualnego (jednolitego wyglądu) korzystne będzie wykonanie paroprzepuszczalnej powłoki malarskiej o właściwościach hydrofobowych (częściowo samoczyszczących). Dzięki odtworzeniu pełnego przekroju ścian uzyskana zostanie pełna nośność przekrojów, a tym samym możliwość powrotu do pełnego intensywnego użytkowania szybu.

## 6. Podsumowanie i wnioski

Wykorzystanie istniejących obiektów w celu dostosowania ich do planowanych zmian procesu technologicznego należy do najbardziej efektywnych sposobów postępowania. Wiąże się to zazwyczaj z przeprowadzeniem gruntownego remontu. Oceniając zasadność naprawy należy brać pod uwagę wiele czynników takich jak: wiek i jakość wykonania, stan techniczny

konstrukcji, stopień naturalnego zużycia technicznego, a także wpływ negatywnych czynników środowiskowych.

W referacie przedstawiono wykonaną ponad pół wieku temu żelbetową wieżę szybową typu basztowego. Została ona zaprojektowana i wykonana w technologii mieszanej – ściany w ślizgu, stropy w deskowaniach tradycyjnych. W niedługim czasie od wzniesienia w ścianach pojawiły się rysy. Główną przyczyną ich wystąpienia był skurcz betonu. Aktualnie, układ rys i ich rozwartość nie zmieniają się, o czym świadczą nienaruszone szklane plomby założone prawie dwadzieścia lat temu.

W celu określenia jakości betonu wykonano badania wytrzymałościowe i chemiczne na próbkach rdzeniowych pobranych z konstrukcji. Stwierdzono, że wytrzymałość betonu na ściskanie jest większa od projektowanej, ale występują warstwy skarbonatyzowanego betonu. Grubość warstwy skarbonatyzowanej jest różna i dochodzi maksymalnie do 40 mm. Zawartość siarczków i chlorków w betonie jest na dopuszczalnym poziomie. Nieco większą grubość warstwy skarbonatyzowanej oraz większą zawartość jonów siarczanowych stwierdzono w ścianach wykonanych z betonu na kruszywie łupkoporytowym. Ten rodzaj betonu został jednak zastosowany w słabiej obciążonych obszarach ścian w górnej części obiektu.

Naprawa ścian obejmuje usunięcie skarbonatyzowanej warstwy betonu, sklejenie rys, zabezpieczenie zbrojenia przed korozją, nałożenie warstwy reprofilującej i pokrycie powierzchni powłoką hydrofobową. Pozwoli ona doprowadzić konstrukcję do pełnej nośności i lepiej zabezpieczyć ją przed wpływem czynników agresywnych. Równocześnie przeprowadzenie remontu będzie znacznie tańsze niż wykonanie nowej konstrukcji.

## Literatura

1. Fragmentaryczna dokumentacja rysunkowa do Projektu techniczno-roboczego żelbetowej wieży wyciągowej, Biura Projektów Przemysłu Górniczego, Biuro Projektów w Katowicach, wrzesień – listopad 1963 r.
2. Ekspertyza techniczna nr 29/7/78: Badania wpływu drgań maszyn i urządzeń (maszyny wyciągowej i innych) na obudowę szybu i wieżę wyciągową szybu Foch II Kopalni Węgla Kamiennego „Knurów” – część I, wykonawca dr inż. M. Węgrzyn, ZG PZITB, Zespół Rzeczoznawców Budowlanych, Grupa Rzeczoznawców nr 7 w Gliwicach, 13.09.1978 r.
3. Ekspertyza techniczna nr 29/7/78: Badania wpływu drgań maszyn i urządzeń (maszyny wyciągowej i innych) na obudowę szybu i wieżę wyciągową szybu Foch II Kopalni Węgla Kamiennego „Knurów” – część II, wykonawca dr inż. M. Węgrzyn, ZG PZITB, Zespół Rzeczoznawców Budowlanych, Grupa Rzeczoznawców nr 7 w Gliwicach, 4.04.1979 r.
4. PN-EN 206-1:2003 Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.