

# Przykłady degradacji konstrukcji żelbetowych w obiektach zakładu przemysłowego

Dr inż. Piotr Berkowski, Politechnika Wroclawska

## 1. Wprowadzenie

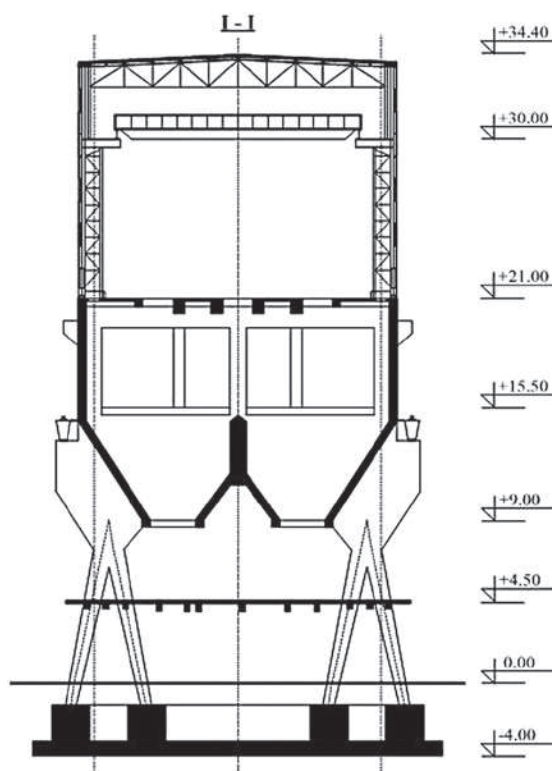
Hale przemysłowe na terenie zakładów przeróbki rudy miedzi, w których znajdują się omawiane elementy konstrukcyjne, zostały wzniesione w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Zbiorniki rudy pokruszonej, o konstrukcji monolitycznej, stanowią centralną część zblokowanej hali zakładu wzbogacania rudy. Symetrycznie po obydwu stronach zbiorników znajdują się młynownie i flotownie, wykonane jako hale stalowe z ciężkim przekryciem w postaci płyt panwiowych. W trakcie wieloletniej, intensywnej eksploatacji, żelbetowe elementy konstrukcyjne w tych obiektach uległy szeregu uszkodzeniom, spowodowanym zarówno przez czynniki wynikające z procesów technologicznych, jak i z warunków środowiskowych.

## 2. Opis analizowanych obiektów

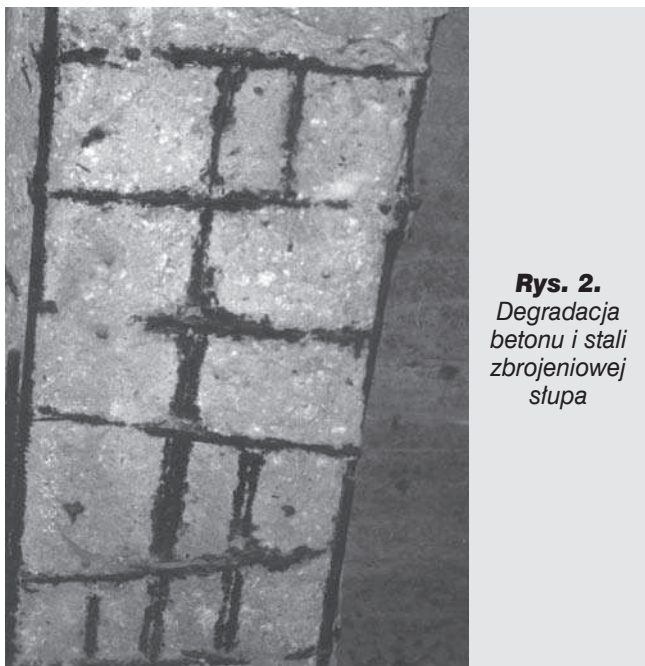
Zbiorniki rudy pokruszonej [1, 2] składają się z 9 segmentów o długości 24 m, szerokości 15 m i wysokości 12,5 m i są rozdzielone dylatacjami. Segment zasobnika podzielony jest na 8 komór żelbetowych, z których każda może być niezależnie napełniana i opróżniana. Geometryczne ukształtowanie zasobników przedstawiono na przekroju poprzecznym na rysunku 1. Część zasobnikowa składa się z 3 zasadniczych elementów funkcjonalnych: zasobników rudy, stropów nad zasobnikami i przekrycia dachowego oraz konstrukcji wsporczej i stropu pod zasobnikami. Konstrukcję wsporczą stanowią dwugąłzowe słupy ukośne, rozbudowane w miejscu oparcia do postaci masywnych głowic żelbetowych, stanowiących również podporę dla belek suwnicy hali młynowni. Segment zasobnika jest skrzynią żelbetową, usztywnioną ścianą podłużną i ścianami poprzecznymi. Ta sztywna skrzynia żelbetowa jest od góry zamknięta żelbetowym stropem płytowo-żebrowym. Dwuprzęsłowe podciągry stropu oparte są na podłużnych ścianach segmentu i na słupach

żelbetowych wewnątrz komór. Zewnętrzne ściany podłużne zasobników mają grubość 40 cm, wewnętrzne ściany poprzeczne, w osiach dwugąłzowych słupów oraz ściany wewnętrzne podłużne mają grubość 90 cm. Zasobniki i konstrukcja wsporcza wykonane zostały z betonu żwirowego B17.5 i zbrojone stalą 34GS i St0.

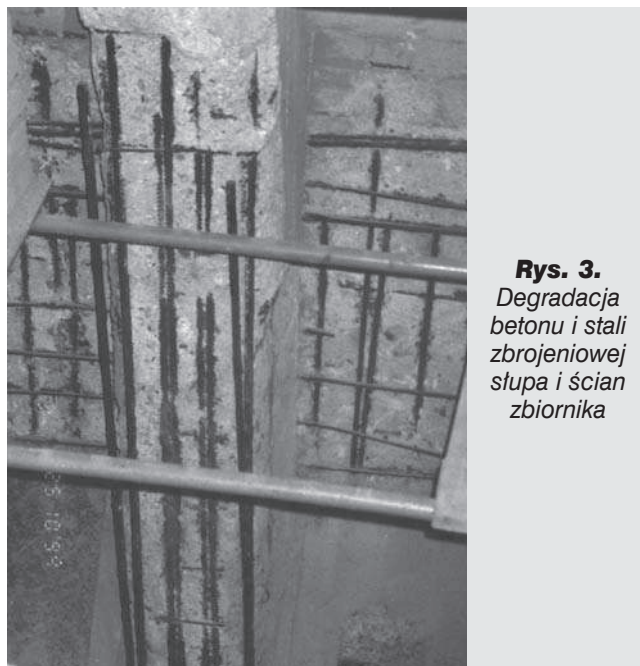
Konstrukcję przekrycia dachów zblokowanych hal przemysłowych [3], przylegających do zasobników rudy, stanowią typowe panwiowe płyty dachowe oparte na stalowych dźwigarach kratowych i spawane okuciami do pasa górnego tych kratownic. Zaprojektowano wykorzystanie typowych płyt wg



Rys. 1. Przekrój poprzeczny żelbetowego zbiornika rudy miedzi



**Rys. 2.**  
Degradacja  
betonu i stali  
zbrojeniowej  
słupa



**Rys. 3.**  
Degradacja  
betonu i stali  
zbrojeniowej  
słupa i ścian  
zbiornika

KB1–31.6.3 (12) typ 2 – 587 x 149 x 30 cm oraz płyt typowych wg KB1–31.6.3 (12) typ 1 – 587 x 89 x 30 cm z betonu B20. Styki podłużne pomiędzy płytami dachowymi wypełniono betonem, natomiast w miejscach oparcia płyt na pasie górnym dźwigarów wykonano wieńce żelbetowe, zapewniające współpracę pasa górnego dźwigarów stalowych i płyt dachowych.

### 3. Diagnostyka stanu technicznego

Stan techniczny omawianych konstrukcji badano już po około 20 latach eksploatacji, ze względu na stwierdzone istotne uszkodzenia, mające wpływ na dalszy proces ich użytkowania.

Zasobniki uszkodzone zostały od wewnątrz komór. Odsonięte lub w całości skorodowane zostały pręty nośne słupów żelbetonowych wewnątrz komór zasobników (rys. 2). Odsonięte zostało również zbrojenie wewnątrz lejów żelbetonowych i na ścianach pionowych (rys. 3), a także zbrojenie w belkach stropu żelbetowego nad zasobnikami. Stwierdzono, że przepływ rudy pokruszonej przez zasobniki ma charakter rdzeniowy, co oznacza, że materiał przepływa środkiem komory, a na ścianach pionowych i ukośnych tworzą się nawisy („strefy martwe”). Nawisy te były usuwane strumieniem wody pod dużym ciśnieniem. Badania wykazały, że używana do tego celu woda technologiczna była zasolona.

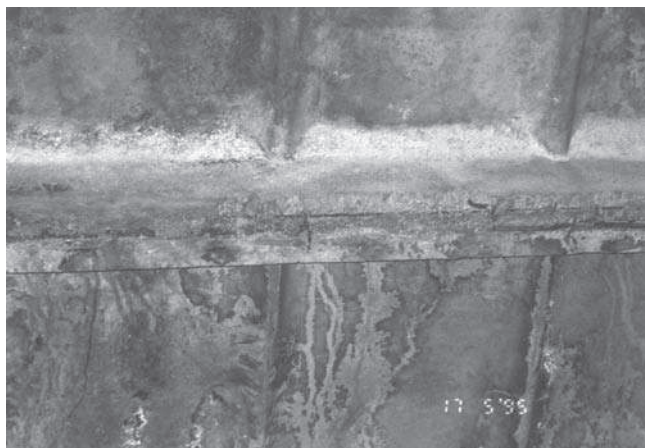
Oceniono, że głównymi przyczynami złego stanu technicznego zbiorników były: mechaniczne starcie betonu na skutek przepływu rudy przez zasobniki oraz korozja betonu i stali zbrojeniowej, pracujących w zasolonym i mokrym środowisku. Z punktu widzenia bezpieczeństwa budowli, newralgicznym elemen-

tem konstrukcyjnym okazały się wewnętrzne słupy żelbetowe, których nośność obniżyła się w wyniku zniszczenia betonu prawie czterokrotnie. Elementy te znajdowały się praktycznie w stanie awaryjnym.

W przypadku płyt dachowych, stwierdzono wyraźne ślady zawilgocenia oraz obecność wykwitów i zacieków na płycinach, a także zniszczenia żeber podłużnych, polegające na ubytkach betonowej otuliny zbrojenia i jego korozji (rys. 4). Innym typem uszkodzeń, spowodowany złym wykonawstwem płyt w zakładzie prefabrykacji, były raki i brak otuliny zbrojenia siatkowego płycin. Wyróżniono trzy stopnie uszkodzeń płyt:

- Płyty z odsłoniętym zbrojeniem, rakami i niedowibrowanym betonem płycin lub żeberk poprzecznych, z widocznym odsłoniętym siatkowym zbrojeniem płycin, częściowo skorodowanym na skutek braku otuliny betonowej już w czasie produkcji płyty. W okresie eksploatacji przez te płyty nie przenikała woda opadowa.
- Płyty z lokalnymi wykwitami korozyjnymi na powierzchni płycin i żeber, stanowiącymi efekt korozji ługująco-węglanowej. W czasie eksploatacji były okresy przenikania przez płyty wód opadowych.
- Płyty z dużymi uszkodzeniami żeber głównych w postaci braku otuliny stali zbrojeniowej na dużych odcinkach, przy podporach i w przęsłach, a także z silną korozją powierzchniową i wżerową głównych prętów zbrojenia żeber. Przez płyty te przesączały się wody opadowe przez długie okresy czasu.

W celu określenia agresywności korozyjnej środowiska atmosferycznego, w halach wykonano standardową analizę składu chemicznego oraz pomiary stopnia wilgotności powietrza. Ze względu na zawartość CO<sub>2</sub>, atmosferę w halach flotowni zaliczono do grupy A, ze względu na zawartość HCl – do grupy C, natomiast



**Rys. 4.** Degradacja betonu i stali zbrojeniowej płyt dachowych

ze względu na zawartość  $\text{NO}_2$  – do grupy B (np. [5]). Uwzględniając średni stopień wilgotności względnej stwierdzono, że środowisko atmosferyczne w halach wykazywało stopień agresywności słaby zarówno w odniesieniu do betonu, jak i do żelbetu. Otrzymane wyniki oznaczały, że dla badanych elementów należało zastosować materiałowo-strukturalną ochronę betonu (np. [4, 5]).

Ochrona taka polega na zwiększeniu odporności betonu lub żelbetu na działanie agresywnych środowisk przez dobór składu lub struktury betonu już w procesie wykonywania konstrukcji.

Na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych próbek betonu i nacieków (sopli) pobranych z płyt dachowych, analizy rentgenograficznej produktów korozji betonu, obecnych w postaci nacieków zwisających z płyt, wieloletnich zawilgoceń płyt i makroskopowej oceny stanu technicznego dolnych powierzchni płyt dachowych stwierdzono, że beton w płytach uległ korozji ługująco-węglanowej i częściowo siarczanowej I typu wg PN-86/B-01802. Ze względu na mechanizm zniszczenia, zjawiska korozji chemicznej betonu przy zetknięciu z wodą i rozpuszczonymi w niej składnikami dla korozji I typu obejmują procesy polegające na fizycznym rozpuszczeniu i wymywaniu przez wodę (ługowaniu) z betonu rozpuszczalnych składników.

Bezpośrednią przyczyną powstania uszkodzeń dachowych płyt panwiowych była więc korozja betonu. Natomiast przyczyny pośrednie, umożliwiające pojawienie się korozji betonu, związane były zarówno z błędami projektowymi, jak i czynnikami wykonawczymi i eksploatacyjnymi. Do błędów projektowych należy zaliczyć przyjęcie zbyt małego spadku połaci dachowych (5%) dla zastosowanego pokrycia z papy, co przy dużych rozpiętościach hal powodowało, że spływ wód opadowych nie był zbyt sprawny. W powiązaniu ze złym wykonawstwem i brakiem odpowiedniej konserwacji pokrycia dachów, dopro-

wadziło to do permanentnego przeciekania dachów i w konsekwencji stworzyło odpowiednie warunki dla szybkiego postępu procesu korozji żelbetowych płyt dachowych oraz ich zbrojenia.

#### 4. Zagadnienia naprawcze

Zakres robót remontowych w przypadku elementów konstrukcji zbiorników objął między innymi:

- Odbudowę zniszczonych wewnętrznych słupów żelbetowych – środkowych i skrajnych.
- Uzupełnienie ubytków otuliny zbrojenia w ścianach i lejach zasobników.
- Wykonanie antyadhezyjnej warstwy poślizgowej dla poprawy przepływu rudy.

Istota odbudowy (rekonstrukcji) wewnętrznych słupów żelbetowych polegała na odpowiednim powiększeniu przekroju pozostałych, w wyniku uszkodzenia rdzeni betonowych o minimalnej nośności. Nowe słupy żelbetowe, obejmujące rdzeń, zostały odpowiednio zakotwione w pionowej ścianie podłużnej i w podciągu. Powłokę antyadhezyjną ścian zaprojektowano z laminatów żywicznych z wypełniaczem przeciwdrobnocząsteczkowym z pyłu korundowego. Zastosowanie powłoki z laminatów, odpowiednio wzmocnionej matą szklaną, z powodu dużej gładkości powierzchni miało na celu poprawienie procesu przepływu rudy przez zasobniki. W projektowanym zadaniu remontowym dotyczącym płyt dachowych należało równocześnie usunąć skutki:

- Niskiej jakości wbudowanych płyt dachowych.
- Błędów projektowych i wykonawczych.
- Wieloletniego przeciekania wód opadowych przez płyty dachowe.

Stwierdzono, że podstawowym warunkiem przystąpienia do naprawy płyt dachowych było zapewnienie należytej szczelności pokrycia dachowego. Ze względu na opisane wcześniej typy uszkodzeń korozyjnych betonu płyt zaproponowano trzy procedury naprawcze, ściśle powiązane z ich stanem technicznym. We wszystkich przypadkach zalecono zastosowanie kompleksowych systemów naprawy betonu. Zaprojektowano również wzmocnienie żeber głównych płyt przez naklejenie taśm z włókien węglowych po wykonaniu pełnych procedur naprawczych betonu płyt.

#### BIBLIOGRAFIA

- Marcinkowski Z., Berkowski P., Konferencja naukowo-techniczna: Awaryjne budowlane, Szczecin – Międzyzdroje, 1996, 219
- Marcinkowska E., Berkowski P., Seminarium naukowo-techniczne: Diagnostyka, utrzymanie, remonty, modernizacje oraz budowa obiektów budowlanych na terenie Lubińskiego Zagłębia Miedziowego, Szklarska Poręba, 2001, 139
- Marcinkowska E., Berkowski P., Seminarium naukowo-techniczne: Diagnostyka, utrzymanie, remonty, modernizacje oraz budowa obiektów budowlanych na terenie Lubińskiego Zagłębia Miedziowego, Szklarska Poręba, 2001, 131
- Czarnecki L., Emmons P. H., Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Polski Cement, Kraków 2002
- Ściślewski Z., Ochrona konstrukcji żelbetowych, Arkady, Warszawa 1999