

# Stan techniczny słupów żelbetowych hali przemysłowej po 50 latach eksploatacji

Dr inż. Wojciech Adamczyk, dr inż. Waldemar Budzyński, dr inż. Jacek Góra, Politechnika Lubelska, dr hab. inż. Wojciech Piasta, Politechnika Świętokrzyska

## 1. Wprowadzenie

W normach z 2002 [1] oraz 2003 roku [2] wprowadzono istotne zmiany wymagań w zakresie trwałości projektowanych konstrukcji żelbetowych oraz wykonywanych betonów. Zmiany te mają przyczynić się do zachowania właściwości użytkowych konstrukcji przez określony czas w warunkach przewidywanej eksploatacji. Wprowadzone w normach wymagania i ograniczenia – odnoszące się do klas ekspozycji – oparte są na założeniu, że przewidywany czas użytkowania konstrukcji wynosi 50 lat. Spełnienie wymagań nowych norm w zakresie trwałości powoduje jednak w wielu przypadkach konieczność zwiększenia wymiarów przekrojów elementów, ilości zbrojenia oraz jakości betonu w stosunku do dotychczas projektowanych. W tym kontekście warto zapoznać się ze stanem technicznym i stopniem zniszczenia żelbetowych słupów hali, będącej jednym z obiektów cementowni, która została wykonana właśnie przed 50 laty i była użytkowana w złożonych warunkach środowiska.

W rozważanym przypadku, tj. daleko posuniętej destrukcji słupów żelbetowych pozostających w bezpośrednim kontakcie z gipsem, anhydrytem i miatem węglowym w składach na otwartym powietrzu – można przypuszczać, że wystąpiło niszczenie złożone (a nawet efekt synergii). Przyczyny zaawansowanego zniszczenia betonu i stali można doszukiwać się zarówno w oddziaływaniu środowiska zewnętrznego, jak i szczególnych warunków przemysłowych. Biorąc powyższe pod uwagę należy uwzględnić możliwość jednoczesnego występowania korozji węglanowej, korozji rozpuszczającej, niszczenia przez zamarzanie i odmarzanie, a ponadto korozji siarczanowej, czy chlorkowej. Dodatkowo na stan techniczny słupów wpłynęły błędy projektowe, wykonawcze, a także sposób użytkowania hali.

## 2. Opis hali

Hala, zaprojektowana w końcu lat pięćdziesiątych, a wybudowana około 1960 roku, zlokalizowana jest na terenie cementowni. Hala, o wymiarach w osiach słupów 420,50 m x 29,50 m, jest obiektem jednonawo-

wym o konstrukcji szkieletowej. Głównymi elementami konstrukcji są żelbetowe słupy monolityczne, będące podporami stalowych dźwigarów dachowych i stalowych belek podsuwnicowych (rys. 1). Rząd słupów od strony północnej tworzy 57 słupów w rozstawie 7,5 m. Rozstaw słupów od strony południowej jest zróżnicowany i wynosi od 6,00 do 10,60 m. Hala jest zadaszona tylko w części środkowej. Dźwigary dachowe mają rozstaw 7,5 m i są oparte od strony północnej bezpośrednio na słupach, a od strony południowej na wieńcowych podciągach żelbetowych (opartych na słupach). Na całej długości hali odbywa się transport surowców za pomocą dwóch suwnic o udźwigu 16 t każda. Maksymalny nacisk jednego koła suwnicy wynosi 32,6 kN. Wzdłuż hali, po obu stronach, w poziomie toru jazdy suwnic, występują, oparte na słupach, żelbetowe belki pomostowe służące do obsługi suwnic. Hala nie posiada obudowy zewnętrznej.

Całkowita wysokość słupów wynosi 26,00 m, a liczona od otaczającego terenu na zewnątrz hali (poziom 0,00) 23,00 m. Słupy zamocowane są w żelbetowych stopach fundamentowych posadowionych na poziomie – 4,80 m. Typowe słupy hali mają przekrój prostokątny o zmiennych wymiarach: (licząc od dołu) 100 x 180 cm do poziomu + 4,00 m, 80 x 180 cm do pozio-



Rys. 1. Skład węgla w zachodniej części hali – widoczny obudowany taśmociąg zamocowany do słupów



**Rys. 2.** Wnętrze niezadaszonej części hali od strony wschodniej – skład gipsu

mu + 17,55 m (poziom oparcia belki podsuwnicowej), 80 x 93 cm do + 18,70 m oraz 70 x 55 cm w części nadsuwnicowej. Słupy wykonano z betonu marki 170 i stali St37St ( $Q_r = 2500$  at). Łączenie części z prętów podłużnych zostało wykonane poprzez spawanie do marek stalowych (obetonowanych).

Hala przeznaczona jest do składowania węgla, stanowiącego paliwo w procesie produkcji klinkieru, a także surowców używanych do produkcji klinkieru i cementów m.in.: żużla, gipsu, surowców żelazonośnych. Sposób użytkowania konstrukcji pozostaje niezmienny od wybudowania i tak, w części zachodniej (częściowo bez zadaszenia) składowany jest węgiel – miał i groszek (rys. 1), a w części wschodniej gips (brak zadaszenia) (rys. 2).

### 3. Stan techniczny słupów

#### 3.1. Uszkodzenia słupów

Podczas badań słupów, prowadzonych in situ, w części podsuwnicowej stwierdzono liczne uszkodzenia, które w sposób uogólniony przedstawiono poniżej:

- w górnej i środkowej części, w narożach słupów występują lokalne ubytki otuliny oraz jest widoczna korozja odsłoniętego zbrojenia;
- na markach stalowych są widoczne liczne ubytki otuliny betonowej oraz korozja powierzchniowa stali; jeżeli nie doszło do odsłonięcia marek, to pozostająca otulina jest silnie spękana;
- w części dolnej słupów (szczególnie do wysokości około 1,5 m od poziomu gruntu) odpadła otulina zbrojenia lub jest ona odspojona i w większości przypadków stwierdzono silnie zaawansowaną korozję betonu oraz stali zbrojeniowej; zjawiska te są szczególnie nasilone w składzie węgla oraz gipsu (rys. 3 i rys. 5):
  - widoczne pęknięcia i ubytki betonu sięgające poza oś prętów zbrojenia licząc od zewnętrznej powierzchni słupów;
  - korozja zbrojenia zarówno powierzchniowa, jak i wgłębna – stwierdzono lokalne znaczące wżery

(ubytki w przekroju zbrojenia w sprawdzanych miejscach dochodzą nawet do 50% – pomiary średnicy zbrojenia w wybranych przekrojach: 28,15; 26,35; 28,90; 21,70 mm, przy średnicy nominalnej 30 mm);

- niektóre pręty podłużne oraz strzemiona przerwane lub ich brak (rys. 6);
- w wielu miejscach (szczególnie w narożach przekrojów) pręty są odkształcone (w sposób mechaniczny, ale nie wskutek wybożenia) w stosunku do założonej osi ich przebiegu;
- w wielu słupach z zachowaną otuliną występuje głuchy dźwięk przy ostukiwaniu młotkiem, dotyczy to również betonu odsłoniętego do głębokości około 15 cm w przypadku ubytku zewnętrznej warstwy betonu;
- po wykonaniu odkrywki otuliny, wydającej głuchy dźwięk przy ostukiwaniu młotkiem, stwierdzono korozję prętów podłużnych i strzemion,
- prawie pod wszystkimi obejmami stalowymi, służącymi do mocowania wsporników podtrzymujących obudowę taśmociągów występowały uszkodzenia betonu, w przypadku niektórych słupów dość poważne (rys. 4).

Uwagę zwraca stan betonu w części konstrukcji zlokalizowanej w miejscu składowania surowca gipsowego. Dotyczy to elementów (dolna część słupów oraz ściana przylegającego budynku od strony południowej – rys. 2) zasypywanych gipsem (po przeciwnej północnej stronie znajdują się tory). Beton w tych fragmentach elementów (rys. 5) charakteryzował się wyraźnie mniejszą twardością w porównaniu do betonu w słupach znajdujących się w składzie węgla. Uderzenie młotkiem pozostawiało wgniecenie w materiale, a wydawany dźwięk był głuchy (podobny jak przy uderzeniu w zawilgocone drewno).



**Rys. 3.** Rozległe uszkodzenia betonu oraz prętów zbrojenia słupa w składzie węgla – widoczne połączenia prętów na zakład



**Rys. 4.** Widok uszkodzeń betonu pod mocowaniem wsporników podtrzymujących konstrukcję obudowy taśmociągu



**Rys. 5.** Uszkodzenia słupa w składzie gipsu – widoczne pęknięcia i odsłonięcie otuliny, silna korozja zbrojenia

Stan techniczny większości słupów w części nadsuwnicowej ogólnie można uznać za zadowalający, z wyłączeniem pojedynczych słupów, w których występują uszkodzenia w postaci lokalnych spękań i odsłoneń otuliny, a także korozji stali zbrojeniowej.

### 3.2. Wyniki badań laboratoryjnych

W celu przeprowadzenia badań betonu ze słupów zostały pobrane odwierty rdzeniowe o średnicy 100 mm i długości do 300 mm. Aby ocenić najbardziej krytycznie wyglądające elementy, do pobrania próbek wyznaczono słupy znajdujących się w składzie węgla oraz gipsu, z wyraźnymi uszkodzeniami betonu oraz korozją stali zbrojeniowej. Odwierty pobierano ze środka dłuższego boku przekroju słupów, na wysokości 100–120 cm od poziomu terenu.

Próbki betonowe poddano ocenie makroskopowej, a następnie zostały użyte do badań gęstości objęto-

ściowej, nasiąkliwości i wytrzymałości na ściskanie betonu. Wyniki przedstawiono w tabeli 1. Ponadto przełamy odwiertów betonu zostały poddane testowi fenoloftaleinowemu [3], w celu określenia głębokości karbonatyzacji. Głębokość zubożenia betonu licząc od powierzchni wyniosła 10–30 mm. Na podstawie oceny makroskopowej uznano, że beton na powierzchni przełamu rdzeni jest w miarę jednorodny, zawiera pojedyncze pustki powietrzne o średnicy do 6 mm, został wykonany z kruszywa otoczkowego o średnicy ziaren do 40 mm. Punkt piaskowy składu ziarnowego oszacowano na ponad 40%.

Średnia wartość wytrzymałości na ściskanie betonu pobranego ze słupów wynosi 39,5 MPa, a jej wartość najmniejsza 28,3 MPa. Zgodnie z normą [4], jeżeli badania wytrzymałości betonu na ściskanie są wykonywane na próbkach z odwiertów rdzeniowych, a średnica próbek jest równa ich wysokości i mieści się w przedziale 100–150 mm, to uzyskane na tych próbkach wyniki odpowiadają wytrzymałości określonej na normowych próbkach sześciennych o długości krawędzi równej 150 mm. Na tej podstawie można uznać, że cechy wytrzymałościowe betonu w słupach są właściwe dla klasy C25/30 [2]. Ponadto należy uznać te wyniki badań wytrzymałości za odpowiadające określonej w projekcie marce betonu 170 (dotyczy miejsc pobrania odwiertów).

**Tabela 1.** Wyniki badań właściwości betonu pobranego ze słupów

Oznaczenie miejsca/słupa	Gęstość objętościowa $\rho_v$ , kg/dm <sup>3</sup>	Nasiąkliwość $n_w$ , %	Wytrzymałość na ściskanie, walec $\varnothing 100/h 100$ mm $f_{ci}$ , MPa
1	2	3	4
Skład gipsu A56	2,30	3,5	37,6
Skład gipsu A57	2,32	3,1	48,8
Skład węgla B6	2,32	2,1	42,6
Skład węgla B7	2,30	2,3	40,2
Skład węgla B9	2,26	3,4	28,3

Za dość zaskakujące należy uznać wyniki badań nasiąkliwości (wszystkie poniżej 4%). Uzyskane wartości są bardzo niskie jak dla betonu o średniej wytrzymałości na ściskanie równej 39,5 MPa. Można jedynie przypuszczać, że jest to spowodowane wiekiem betonu i bardzo wysokim stopniem hydratacji cementu.

## 4. Przyczyny uszkodzeń słupów

### 4.1. Wpływ warunków środowiska zewnętrznego

Hala została wykonana około 1960 roku. Większość elementów konstrukcyjnych budowli, a w szczególności słupy i ich dolne odcinki, jest narażona na bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych, ponieważ jedyną osłonę przed nimi stanowi dach nad

częścią środkową oraz elementy konstrukcji budynków przylegających do hali. Hala nie posiada ścian zewnętrznych, czyli przez około 50 lat elementy konstrukcyjne narażone były na bezpośrednie działanie czynników, które mogą wywoływać korozję betonu i stali. Do tych czynników należy zaliczyć typowe i zawsze występujące w naturalnym otoczeniu: miękką wodę pochodzącą z opadów atmosferycznych, dwutlenek węgla, mróz, znaczne zmiany temperatury (bezpośrednie nasłonecznienie). Dodatkowo w zakładach przemysłowych (w tym także w cementowni), w których ma miejsce spalanie dużej ilości paliw, występują w podwyższonym stężeniu (szczególnie w latach 60., 70. i 80. XX wieku): dwutlenek węgla, dwutlenek siarki, chlorowódz, wzmagając zakwaszenie wody opadowej o oddziaływaniu rozpuszczającym na beton [5, 6]. Ponadto należy jeszcze uwzględnić występowanie jonów siarczanowych, które pochodzą z materiałów składowanych w hali: siarczanu wapnia (gipsu i anhydrytu) i węgla (wymywanie związków siarki).

W składzie węgla najpoważniejsze uszkodzenia wszystkich słupów występują w dolnej części, przy gruncie, do wysokości zalegania węgla. Wystąpiły tutaj specyficzne warunki, które bezpośrednio lub pośrednio mogły przyczynić się do powstania uszkodzeń. Agresywność środowiska wobec słupów żelbetowych otoczonych zalegającym miatem węglowym jest wzmoczona z powodu występowania w węglu siarczków (głównie pirytu) oraz chlorków, mających



**Rys. 6.** Silna korozja zbrojenia w słupie w składzie węgla (m.in. zniszczone strzemiona)

tendencję zakwaszania uwięzionej lub przesączającej się wody opadowej. Chlorki pochodzą nie bezpośrednio z surowca, lecz z solanek, które występują na dużych głębokościach pod ziemią w obszarze wydobywania węgla. W wyniku oddziaływania tlenu i wody siarczki mogą się utleniać, a do wody mogą przechodzić jony hydrosiarczanowe ( $\text{HSO}_3^-$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ), które z kolei mogą stwarzać potencjalne zagrożenie korozją kwasową i siarczanową betonu. Natomiast łatwo rozpuszczalne chlorki wnikają do betonu i przyspieszają korozję stali zbrojeniowej, podnosząc pH pasywacji stali, nawet powyżej 12.

Ponieważ podczas oględzin słupów nie stwierdzono charakterystycznych objawów zaawansowanej korozji (pęcznienia, krystalicznego gipsu) uznano, że stężenie agresywnych jonów w tym obszarze hali nie stwarza bezpośredniego zagrożenia dla betonu tym typem korozji. Realne jest natomiast, nawet przy małym stężeniu tych jonów, niebezpieczeństwo wystąpienia korozji zbrojenia. Mogą to potwierdzać intensywne procesy korozyjne zbrojenia, które zaobserwowano w niektórych słupach w części północnej hali (rys. 6). Również w składzie gipsu, podobnie jak w składzie węgla, występuje specyficzny czynnik agresywny, oprócz typowych występujących w obrębie całej hali. Są nim jony siarczanowe, które pochodzą z rozpuszczania w wodzie krystalicznego gipsu składowanego w wysokich hałdach wokół niektórych słupów – zaobserwowano wyraźne zmiękczenie betonu, a także charakterystyczną korozję zbrojenia (rys. 5).

Na destrukcję materiałów w szczególności narażone są dolne odcinki słupów, przy powierzchni terenu w strefie podciągania kapilarnego, ze względu na jednoczesne oddziaływanie opisanych czynników z możliwością niekorzystnego efektu interakcji i synergii. Potwierdza to lokalizacja największych uszkodzeń.

Do wielu słupów przymocowane są za pomocą obejm wykonanych z kształtowników stalowych, obudowane (lekką konstrukcją stalową) taśmociągi służące do transportu surowców (rys. 1). Pod obejmami występują znaczne uszkodzenia słupów (odspojona otulina, wyraźna korozja zbrojenia – rys. 4). W tym przypadku uszkodzenia słupów są skutkiem korozji ługującej, a także działania czynników mechanicznych. Woda z opadów (deszczu i topniejącego śniegu) zacieka po konstrukcji obudowy taśmociągu, następnie poprzez obejmy na słupy (zwykle cały czas w jakimś konkretnym miejscu). Ponieważ jest to woda miękka (o zmiennej zawartości dwutlenku węgla), powoduje wymywanie z betonu jonów wapnia, a to zakłóca równowagę chemiczną betonu i wywołuje dekalcyfikację fazy C-S-H co prowadzi do rozkładu struktury betonu. Zwiększa się porowatość betonu przez co warstwa otuliny staje się bardziej podatna na przenikanie przez nią czynników agresywnych (karbonatyzacja, korozja siarczanowa) oraz mniej odporna na działanie mrozu. Po pewnym czasie następuje korozja stali zbrojenio-

wej i odpadanie otuliny. Destrukcja betonu w tych miejscach może być również zwiększona z powodu drgań powstających podczas pracy taśmociągu, przenoszących się na słup poprzez elementy mocowania. Uszkodzenia, ale nie tak znaczne, można też obserwować nad obejmami.

Uwzględniając wiek konstrukcji, należy uznać, że w tych warunkach, nawet bez dodatkowych niesprzyjających okoliczności, w elementach żelbetowych mogą wystąpić uszkodzenia spowodowane korozją betonu i stali zbrojeniowej.

#### 4.2. Błędy projektowe, wykonawcze i użytkowe

Pięćdziesiąt lat temu wymagania normowe dotyczące trwałości konstrukcji żelbetowych były bardziej liberalne [7], a możliwości technologiczne i poziom wykonawstwa znacznie niższy niż obecnie. Zgodnie z zaleceniami literaturowymi [5] i wymaganiami normowymi [1, 2], jeżeli nie projektuje się specjalnych dodatkowych zabezpieczeń przed korozją (np.: zwiększonej ponad wymagania normowe grubości otuliny betonowej, zastosowania powłoki ochronnej, izolacji, lepszej jakości betonu, zbrojenia ze stali nierdzewnej itp.), to wykonanie otuliny betonowej, według wymagań normowych dotyczących korozji stali, jest równoznaczne z założeniem, że projektowany okres użytkowania konstrukcji wynosi 50 lat.

Zgodnie z projektem konstrukcyjnym słupy wykonano z betonu marki 170, który według aktualnych wymagań mógłby być przeznaczony zaledwie do elementów niezbrojonych lub ewentualnie do zbrojonych wewnątrz budynków o bardzo niskiej wilgotności powietrza (klasa ekspozycji XO). Jednak na podstawie wyników badań stwierdzono, że pięćdziesięcioletni beton w rdzeniu przekroju słupów jest dobrej jakości, jak na postawione nie najwyższe wymagania. Charakteryzuje się dużą wytrzymałością na ściskanie (wyższą od założonej w projekcie konstrukcyjnym o ponad 10–30 MPa).

Zgodnie z projektem konstrukcyjnym słupów, odległość od środka ciężkości pierwszej warstwy zbrojenia do zewnętrznej krawędzi przekroju słupa (w odniesieniu do wszystkich boków przekroju) wynosi 63 mm. Jeżeli uwzględnimy średnicę prętów zbrojenia podłużnego  $\varnothing 30$  oraz średnicę strzemion  $\varnothing 8$ , oznacza to, że zgodnie z projektem pręty podłużne powinny mieć otulinę betonową grubości 48 mm, a strzemiona 40 mm. Zgodnie z wymaganiami normowymi [1, 7] otulina powinna mieć minimalną grubość równą średnicy pręta powiększoną o odchyłkę ze względu na trudności wykonawcze, czyli  $30 + 10 = 40$  mm, a ponadto, ze względu na ochronę stali przed korozją co najmniej  $20 + 10$  (odchyłka) = 30 mm zgodnie z wymaganiami normy z roku 1956 oraz  $25 + 10 = 35$  mm wg obecnie obowiązującej normy przy klasach ekspozycji XC, XF i XA (przy czym otulinę minimalną ustala się w odniesieniu do strzemion, a dawniej

do zbrojenia głównego). Projektowana grubość otuliny jest większa od wymaganej ze względu na ochronę stali przed korozją, nawet w odniesieniu do obecnych, konserwatywnych przepisów, przy czym w klasie ekspozycji XA należy uwzględnić wykonanie powierzchniowej ochrony betonu, której w tym przypadku brak. Na podstawie oględzin uszkodzonych słupów stwierdzono, że w większości przypadków słupy posiadają zgodną z projektem otulinę betonową (miejscami nawet do 10 cm). Jednak miejscowo grubość otuliny jest mniejsza i wynosi około 1 do 2 cm. Istotne odchylenia grubości otuliny od wartości projektowanej są wynikiem błędów wykonawczych i świadczą o nie najwyższej jakości robót.

Zgodnie z rysunkami konstrukcyjnymi słupów, zbrojenie podłużne łączone jest poprzez spawanie do marek stalowych lub na zakład. Wykonanie prawidłowego połączenia prętów na zakład wymaga spełnienia szeregu wymagań, które jeżeli nie są spełnione, mogą być przyczyną zarysowania betonu w obrębie połączenia. W połączeniu tego rodzaju siły przekazywane są między łączonymi prętami poprzez przyczepność. Powoduje to powstawanie naprężeń normalnych w betonie (na końcach długości zakładu), które mogą być przyczyną zarysowania betonu. Ponadto przy połączeniu prętów ściskanych (tak jak w słupach), szczególnie dużych średnic (w tym przypadku  $\varnothing 30$ ), znaczna część siły ściskającej może być przekazywana na beton przez docisk końca pręta, co może powodować zarysowanie betonu. W roku 1957, kiedy projektowane były słupy, nie była jeszcze znana rzeczywista praca złącza na zakład. W kolejnych nowelizacjach normy do projektowania konstrukcji żelbetowych wprowadzono liczne zmiany dotyczące m.in. liczby prętów łączonych w jednym przekroju, maksymalnej średnicy prętów łączonych, wymaganego zbrojenia poprzecznego na długości zakładu (ilości i rozstawu), odległości między prętami w przekroju. Wiele z tych wymagań nie jest spełnionych w połączeniach wykonanych w analizowanych słupach, co wynika zarówno z analizy rysunków konstrukcyjnych, jak i oględzin odsłoniętych połączeń tego typu w uszkodzonych słupach. Stwierdzono m.in.: brak odpowiedniego zbrojenia poprzecznego (strzemion), znaczną grubość łączonych prętów, dużą liczbę łączonych prętów, brak wymaganego przesunięcia końców zakładów, zbyt małe odległości między prętami (czasami kilka prętów ułożonych na styk) – rysunek 3. Mogło to być przyczyną zarysowania betonu i w konsekwencji spowodować wnikanie czynników wywołujących korozję betonu i stali na znaczną głębokość, powodując lokalne uszkodzenia. Duża liczba prętów występujących na długości połączenia (zamiast pojedynczego pręta wymaganego obliczeniowo, dwa łączone na zakład, czyli w rzeczywistości w badanych słupach np. o 4 lub 5 więcej), może się przyczynić do szybszego uszkodzenia słupa, ponieważ w sytuacji wystąpienia korozji

zbrojenia ilość produktów korozji będzie znacznie większa i odspojenie otuliny nastąpi szybciej i na większej powierzchni. Warto również podkreślić, że ze względu na zbieg okoliczności lub błąd projektanta, połączenia prętów na zakład zostały zaprojektowane i wykonane na odcinku słupów o długości od 2 do 4 m licząc w górę od poziomu 0,00 (poziom gruntu). Miejsca te, ze względu na sposób składowania surowców w hali (węgiel, gips – możliwe zagrożenie korozją siarczanową) oraz na kapilarne podciąganie wody gruntowej i okresowe zwilżanie betonu, są bardzo niekorzystne ze względu na zagrożenie korozyjne, a ponadto okazały się newralgicznymi, słabymi miejscami, w których wystąpiły uszkodzenia w wielu słupach.

W przypadku słupów najłabszymi miejscami w przekroju są naroża. Zwykle nie udaje się w nich właściwie zagęścić mieszanki betonowej, a ponadto dochodzi do koncentracji zaprawy, z której przez krawędź nieszczelnego deskowania w wielu miejscach wyciekał zaczyn, co powoduje, że beton jest bardziej porowaty i ma niższą wytrzymałość. Obszar krawędzi słupów to miejsce o lokalnie największej powierzchni właściwej, do którego tym samym dociera największa ilość związków agresywnych. Ponadto w narożach występują znaczne gradienty temperatury i wilgoci, co przy słabszym jakościowo betonie jest powodem tego, że w słupach zwykle najszybciej ulegają uszkodzeniu właśnie naroża. W analizowanych słupach w narożach dodatkowo występują połączenia prętów na zakład, nawet w dwóch warstwach, co jest istotnym błędem, przyspieszającym destrukcję.

W całej hali występuje dodatkowy, niebezpieczny czynnik związany z pracą suwnicy, której chwytek może przyczyniać się do uszkodzeń mechanicznych słupów (i innych elementów konstrukcyjnych). Podczas nabierania, podnoszenia i przemieszczania materiałów składowanych w hali, przy jednoczesnej jeździe suwnicy (praca również w nocy), chwytek (również z surowcem) uderzając w elementy żelbetowe powoduje ich mechaniczne uszkodzenia. Z pewnością było to przyczyną bezpośrednią (odłupywanie otuliny; wyginanie prętów podłużnych; zrywanie strzemion) lub pośrednią (uszkodzenia otuliny, które przyspieszyły destrukcję betonu i stali) uszkodzenia słupów. Potwierdzają to uszkodzenia ścian oporowych w składzie węgla od strony północnej (torów), których charakter świadczy o tym, że mogły powstać jedynie w taki sposób. Identyczne uszkodzenia można obserwować w innych częściach hali np. ścian oporowych przy składach gipsu i żużla (rys. 2).

## 5. Wnioski

W wyniku stwierdzonych uszkodzeń słupów nastąpiło zmniejszenie powierzchni przekroju betonowego oraz zmniejszenie całkowitego przekroju nośnych prętów podłużnych. Powoduje to obniżenie nośności

przekroju oraz zmniejszenie bezpieczeństwa elementu i całej konstrukcji hali. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań, pomiarów, oględzin oraz obliczeń sprawdzających stwierdzono, że obecny stan techniczny słupów nie stwarza bezpośredniego zagrożenia awarią. Jest on jednak niezadowolający. W tej sytuacji, jeżeli nie zostaną powstrzymane procesy korozyjne betonu i stali zbrojeniowej, może w niedługim czasie dojść do awarii konstrukcji.

Zalecono, aby w jak najkrótszym czasie przywrócić właściwy stan techniczny słupów poprzez zastosowanie materiałów i technologii właściwych przy prowadzeniu napraw uszkodzonych i skorodowanych konstrukcji żelbetowych. Naprawa powinna zapewnić zwiększenie zabezpieczenia betonu przed korozją. Ze szczególną uwagą należy wykonać naprawę (rekonstrukcję) słupów w rejonie połączeń prętów na zakład. Należy dokonać wszelkich starań, aby w wyniku naprawy złącze spełniało wymagania zawarte w obecnie obowiązujących przepisach normowych.

Z przedstawionych uszkodzeń słupów żelbetowych, które przez 50 lat były eksploatowane w trudnych warunkach środowiska, wynika, że wymagania normowe, aktualne w czasie projektowania konstrukcji, nie zapewniały właściwego zabezpieczenia konstrukcji przed destrukcyjnym działaniem środowiska. Nowe przepisy normowe, które w znaczący sposób podnoszą wymagania odnośnie jakości betonu (m.in. zmniejszenie maksymalnych wartości w/c, wprowadzenie zaleceń dotyczących minimalnych klas betonu) oraz ochrony zbrojenia (grubsze otuliny), zastosowane w przypadku opisywanej konstrukcji, prawdopodobnie przyczyniłyby się do uniknięcia tak zaawansowanej destrukcji. W omawianym przypadku do tak poważnych uszkodzeń przyczynił się również złożony charakter niszczenia (wiele jednocześnie działających czynników chemicznych, a także czynniki o charakterze fizycznym i mechanicznym). Uwzględniając wyniki badań 50-letnich słupów uznano, że wprowadzenie licznych klas ekspozycji i postawienie wysokich wymagań normowych w zakresie trwałości konstrukcji betonowych było konieczne i całkowicie uzasadnione.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-B-03264:2002: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [2] PN-EN 206-1 :2003: Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [3] PN-88/B-01807 Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Zasady diagnostyki konstrukcji
- [4] prEN 13791:2003: Assessment of concrete compressive strength in structures or in structural elements
- [5] Czarnecki L., Emmons P.H., Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych. Polski Cement 2002
- [6] Ścisławski Z., Ochrona konstrukcji żelbetowych. Arkady 1999
- [7] PN-56/B-03264: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie