

Destrukcja konstrukcji stropu żelbetowego w zakładzie przemysłowym jako skutek nieprawidłowej eksploatacji obiektu

Prof. dr hab. inż. Wiesław Buczkowski, Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań,
dr inż. Janusz Kowalski, Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

W artykule omówiono stan zniszczenia podstawowych elementów konstrukcyjnych hali żelbetowej (stropy, żebra, podciąg i płyty dachowe), przedstawiono model korozyjnego niszczenia stali i betonu oraz zaproponowano sposób wykonania napraw.

2. Informacje ogólne o obiekcie

Budynek stanowiący przedmiot opracowania jest obiektem halowym, wielonawowym, dwukondygnacyjnym, wykonanym w konstrukcji żelbetowej. Jego zasadnicze wymiary w rzucie wynoszą:

- długość: 194,09 m,
- szerokość: 25,09 m,
- wysokość: 14,18 m.

Hala jest obiektem 32-przęsło-

wym, w którym rozstaw przęseł wynosi 6,0 m. Została ona wzniesiona w II połowie lat sześćdziesiątych XX w.

Zasadniczą konstrukcję hali stanowi żelbetowy szkielet słupowy-ryglowy z żelbetowymi stropami monolitycznymi i dźwigarami strunobetonowymi SB-1-65 oraz kablobetonowymi o rozpiętości 12 m. Dźwigary strunobetonowe ułożone zostały w kierunku poprzecznym hali, natomiast prostopadle do nich wykonano podciąg i żebra żelbetowe. Konstrukcję dachu stanowią płyty panwiowe 6-metrowe, oparte na dźwigarach kablobetonowych. Podciąg wykonano jako belki 4-przęsłowe, podparte słupami. Mają one:

- szerokość: $b = 40$ cm,
- wysokość (łącznie z płytą stropową): $h = 90$ cm,

– zbrojenie podłużne: $4 \varnothing 20$ ze stali żebrowanej, strzemiona: $\varnothing 8$ co 30–50 cm.

Żelbetowe żebra stropowe w rozstawie co 2,0 m mają przekrój:

- szerokość: $b = 25$ cm,
- wysokość (łącznie z płytą stropową): $h = 50$ cm,
- zbrojenie podłużne: $3 \varnothing 20$ ze stali żebrowanej, strzemiona: $\varnothing 6$ co 25÷30 cm.

Płyta stropowa ma grubość 12 cm. Na niej została ułożona posadzka lastrico. Jej zbrojenie, to pręty $\varnothing 10$ co 15 cm.

Archiwalny projekt konstrukcji zakładał wykonanie wszystkich elementów monolitycznych hali z betonu $R_w = 170$ kG/cm², zbrojenia głównego ze stali o $Q_r = 3600$ kG/cm² i strzemion ze stali o $Q_r = 2500$ kG/cm².



Rys. 1. Powierzchniowy ubytek otuliny w płycie, widoczne skorodowane pręty, zubożony beton



Rys. 2. Ubytek otuliny w podciągu, ślady wytrąconych soli, skorodowane zbrojenie



Rys. 3. Przebicie podciągu w strefie przypodporowej, widoczne ślady przecieku



Rys. 4. Pobrane do badań próbki betonu ze śladami korozji

3. Opis stanu istniejącego

Podczas oględzin głównych elementów konstrukcji żelbetonowej hali na parterze stwierdzono liczne przebicia płyty stropowej oraz żeber i podciągów, a także powierzchniowe ubytki betonu. W wielu miejscach występują liniowe odpryski otuliny prętów zbrojeniowych i skorodowane zbrojenie. Niektóre pręty zbrojenia zostały wykorzystane do mocowania wiszaków podtrzymujących instalacje technologiczne.

Niezależnie od tego, na znacznych powierzchniach wszystkich elementów żelbetonowych hali, stwierdzono ślady zacieków powstałych podczas gaszenia pożarów oraz zmywania posadzek na I piętrze. Najbardziej charakterystyczne przykłady zniszczeń zaobserwowanych na parterze przedstawiono na rysunkach 1–4. Obszary ich występowania w postaci zakreskowanych prostokątów zilustrowano graficznie na rysunku 5.

Na I piętrze mocno zniszczone są płyty dachowe i żebra, na których się opierają. Żebra te są silnie pognane, występują w nich liczne ubytki betonu, widoczne są silnie skorodowane pręty zbrojeniowe. Na całej niemal powierzchni podniebiennej płyt dachowych występuje intensywny nalot czarnego nagaru [1]. Należy również wspomnieć, że pierwsze znaczące odpadnięcie

otuliny zbrojenia podciągów w rejonie międzystopia (bryły betonu o wymiarach 50 × 30 × 10 cm) wystąpiły w roku 2003 [2].

4. Opis przeprowadzonych badań i ich wyniki

Badaniami objęto żebra, podciągi i płytę stropową. Wytrzymałość betonu w tych elementach pomierzono metodą sklerometryczną, wykorzystując w tym celu młotek Schmidta typu N. Ponadto wykonano kilkanaście odkrywek, pobierając z nich próbki do badań makroskopowych i laboratoryjnych. Do oceny stopnia korozji betonu wykorzystano mikroskop elektronowy VEGA TESCAN 1035M oraz wyniki badań chemicznych.

W wielu miejscach wykonywania odkrywek, głównie w płycie stropowej, beton wykazywał bardzo małą wytrzymałość, rozpadł się przy lekkim uderzeniu młotka. Odkryta stal zbrojeniowa pokryta była cienką powłoką rdzy.

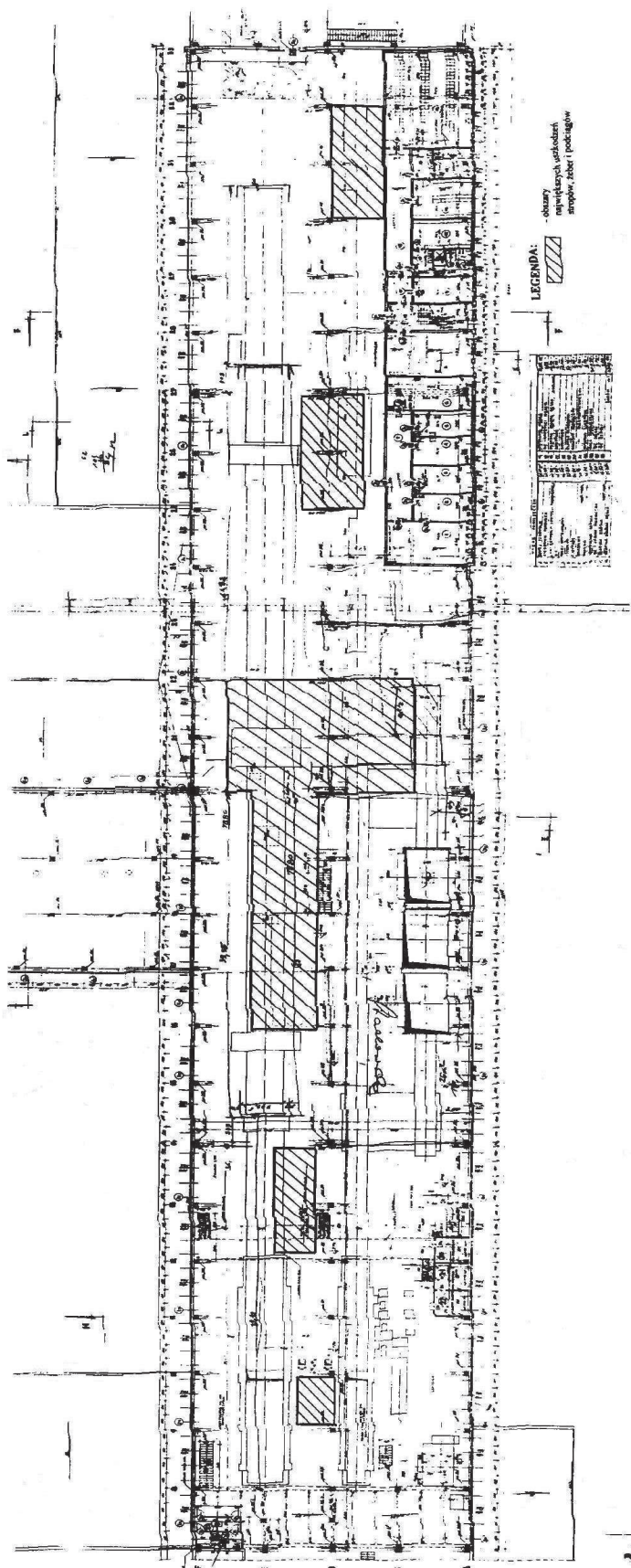
Przełom betonu większości pobranych próbek, pomalowanych fenoloftaleiną, nie wykazywał żadnego zabarwienia.

W próbkach pobranych z żeber i podciągów beton charakteryzował się porowatą strukturą z widoczną dużą ilością soli. Odczyn pH wyciągu wodnego betonu pH oscylował w granicach 8–9. W przeważającej części beton był zobojętniony na całą grubość otuliny i głębiej – szacunkowo na około 8–10 cm. W próbkach stwierdzono obecność dużych ilości chlorków i siarczanów oraz znacznie mniej węglanów.

W próbkach uzyskanych z otulin żeber i podciągów, które samoistnie odpadły z elementów, beton wykazywał również strukturę porowatą z dużą ilością nalotów soli. Na powierzchni styku zbrojenia z betonem zaobserwowano również rdzę z prętów zbrojeniowych, przenikającą w głąb betonu skażonego solami. Odczyn pH wyciągu wodnego betonu miał wartość $\text{pH} = 7-8$. Fenoloftaleina nie

Tabela 1. Przykładowe wytrzymałości betonu na ściskanie, uzyskane metodą badań sklerometrycznych

Element	Wytrzymałość betonu na ściskanie		
	f_{cm} [MPa]	f_{cmin} [MPa]	projektowana [MPa]
Podciąg nr 1	21,36	20,02	17,00
Podciąg nr 2	9,73	9,21	17,00
Podciąg nr 3	8,58	7,61	17,00
Żebro nr 1	16,30	15,62	17,00
Żebro nr 2	7,06	6,77	17,00
Żebro nr 3	5,29	4,05	17,00



Rys. 5. Obszary największych uszkodzeń elementów żelbetonowych

zabarwiała przełomu próbek. Beton był całkowicie zubożniony. Stwierdzono w nim znaczną ilość chlorków i siarczanów oraz znacznie mniej węglanów.

Podobną sytuację stwierdzono w betonach płyt dachowych.

Uzyskane wyniki badań są bardzo zbliżone do uzyskanych w roku 2003 podczas realizacji orzeczenia technicznego dotyczącego odpadania otuliny zbrojenia w rejonie międzystropia hali. Zgodnie z ówczesnymi zaleceniami, międzystropie zostało zdemontowane (stanowiło ono poziomy kanał wentylacyjny), gdyż nie spełniało swojej roli, a było zagrożeniem dla załogi.

5. Analiza stanu istniejącego

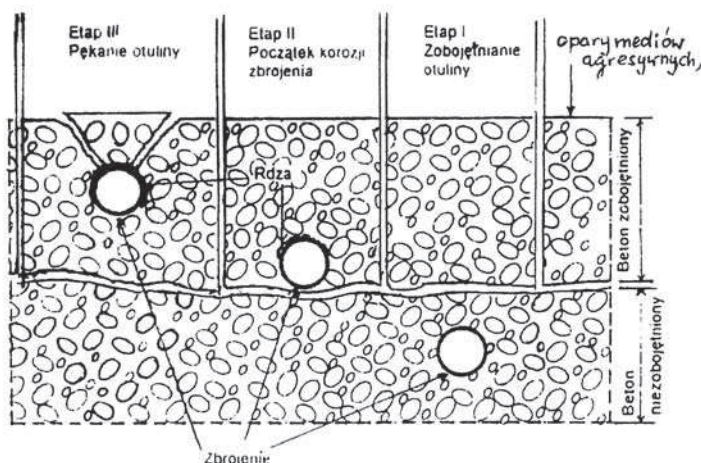
Analizowana hala żelbetowa przeznaczona jest do produkcji płyt pilśniowych. W jej wnętrzu występują temperatury w granicach 26–38°C, a wilgotność względna od 32–51%, zależnie od rodzaju stanowiska produkcyjnego.

Wysokie temperatury w bezpośrednim sąsiedztwie piecy produkcyjnych były kilkakrotnie przyczyną pożarów, które gaszono przy użyciu wody z hydrantów.

Środowisko wnętrza hali jest środowiskiem agresywnym, gdyż w czasie produkcji płyt pilśniowych wydzielają się znaczne ilości chlorków, siarczanów i węglanów. Związki te osadzają się w postaci pary na elementach konstrukcji stropów oraz stropodachu i przy słabej bądź niesprawnej wentylacji (brak skutecznych wyciągów) oddziałują na konstrukcję w postaci stałych odczynów kwaśnych.

Zniszczenie żelbetu może nastąpić w wyniku korozji betonu lub zbrojenia bądź też jednoczesnej korozji betonu i zbrojenia.

W analizowanym obiekcie wystąpiła jednoczesna korozja betonu i zbrojenia, choć dominującym czynnikiem niszczącym była korozja zbrojenia. Beton co prawda uległ w dolnych warstwach zobo-



Rys. 6. Przebieg niszczenia konstrukcji żelbetowych

jętnieniu, stał się porowaty i utracił swą wytrzymałość, a pręty zbrojeniowe w kilku przypadkach utraciły około 30–35% swojego przekroju poprzecznego.

W przypadku, gdy alkaliczność roztworów w porach betonu, w pobliżu zbrojenia ulega obniżeniu do wartości odczynu $\text{pH} < 11,8$, beton traci właściwości ochronne. Staje się wówczas możliwa depolaryzacja katodowa mikroelementów i rozpoczyna się proces korozji zbrojenia [3]. Korozja zbrojenia objawia się zwiększeniem objętości tlenków żelaza. Proces ten powoduje „rozsadzanie” betonu otulającego pręty zbrojenia i systematyczną destrukcję betonu. Schemat procesu niszczenia przedstawiono na rysunku 6.

W przedstawionym powyżej schemacie można wyróżnić 3 etapy:

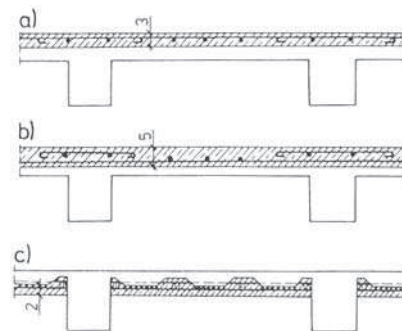
- etap I: zobojętnienie betonu,
- etap II: inicjacja korozji zbrojenia, która początkowo nie daje zewnętrznych objawów zniszczenia,
- etap III: postępująca korozja zbrojenia – pojawienie się rys i odpadanie kawałków betonu, co powoduje zagrożenie bezpieczeństwa użytkowników.

W końcowej fazie, przy dużym stopniu zniszczenia przekroju prętów na skutek korozji może dojść do całkowitego zniszczenia konstrukcji. Czas trwania poszczególnych etapów może być róż-

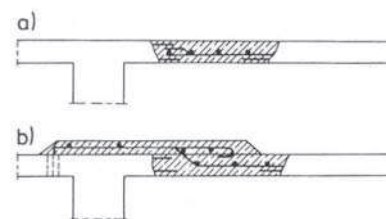
nicowany. Bardzo wolny postęp korozji zbrojenia widoczny jest w przypadku, gdy konstrukcja jest sucha. W takich to właśnie warunkach pracowała niemal przez 40 lat cała konstrukcja hali. W miarę upływu czasu w betonie tej konstrukcji (stropy, belki, żebra) zaczęły wytrącać się sole (między innymi chlorki, siarczany). Są to produkty higroskopijne, które pomimo niskiej wilgotności względnej panującej w pomieszczeniu hali, w miarę upływu czasu zaczęły generować procesy korozyjne w zbrojeniu. Przyspieszenie tego zjawiska spowodowały kilkakrotne akcje gaśnicze podczas pożarów występujących w hali oraz systematyczne zmywanie posadzek strumieniem wody, mycie siatek używanych do produkcji płyt i nieszczelne instalacje wodne i technologiczne. Nie bez znaczenia było również niewłaściwe eksploatowanie hali polegające na wykonywaniu licznych przebić nie tylko w płycie stropowej, ale również w podciągach i żebrach. Miejsca te stały się dodatkowym źródłem przecieków wody, często zakwaszonej i jej penetracji do wnętrza struktury betonu. Ponadto w kilku przypadkach świadomie odkuwano otulinę zbrojenia, aby pręty zbrojenia głównego wykorzystać do podwieszania instalacji technologicznych i innych ciężarów.

6. Podsumowanie i propozycje napraw

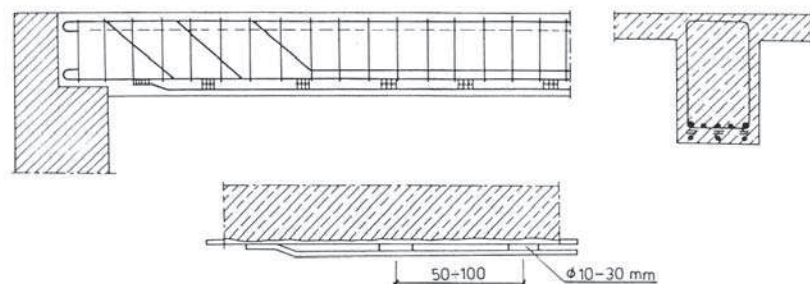
Aktualny stan techniczny hali żelbetowej i jej podstawowych elementów konstrukcyjnych (stropy, podciąg, żebra, płyty dachowe) jest w wielu miejscach niezadowalający i zagraża bezpieczeństwu użytkowników. Przyczyn powstania zniszczeń należy upatrywać przede wszystkim w niewłaściwym sposobie eksploatacji hali, a w konsekwencji w korozji betonu i stali, spowodowanej wpływem agresywnych oparów kwasów chlorowodorowego, siarkowego i węglowego, emitowanych w procesie produkcyjnym. Proces niszczenia przyspieszyły w analizowanym przypadku: akcje gaśnicze, niekontrolowane wykonywanie przebić w elementach konstrukcyjnych, odkuwanie otuliny prętów zbrojeniowych itp.



Rys. 7. Wzmocnienie płyt żelbetowych: a) płyta wzmacniana od góry, b) nowa płyta przenosząca całość obciążeń, c) wzmocnienie płyty od dołu



Rys. 8. Naprawa lokalnych uszkodzeń i przebić: a) w przęśle, b) w przęśle i na podporze obciążeń



Rys. 9. Propozycja wzmocnienia belek żelbetonowych

Aby umożliwić dalszą, bezpieczną eksploatację obiektu, zaproponowano:

- skucie skorodowanych miejsc betonu,
- oczyszczenie betonu i stali zbrojeniowej przez piaskowanie lub techniką wysokociśnieniową (lanca wodna),
- wyprawienie miejsc uszkodzonych, w zależności od wielkości ubytków przy pomocy wypraw ręcznych w systemie PCC lub przy pomocy torkretowania w systemie SPCC.

Przy naprawianiu miejsc uszkodzonych należy usunąć warstwy betonu skarbonatyzowanego. Najbardziej uszkodzone podciąg, żebra i płyty stropowe należy wzmocnić. Propozycje wzmocnień przedstawiono na rysunkach 7, 8 i 9. Wzmocnienie elementów konstrukcji polega na zespoleniu starego zbrojenia z nowym poprzez przyspawanie, po uprzednim odbiciu otuliny starego zbrojenia i oczyszczeniu prętów z produktów korozji. Po zamocowaniu zbrojenia można wykonać uzupełnienie

betonu torkretem lub zaprawą cementową z dodatkiem polimerów. Aby naprawy były skuteczne, muszą być zapewnione warunki do właściwego przygotowania podłoża i aplikacji materiałów naprawczych.

Praca wykonana w ramach tematu 11-002/08.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Buczkowski W., Kowalski J., Ekspertyza techniczna dotycząca hali produkcyjnej płyt porowatych P1 w Czarnkowie przy ul. Przemysłowej 2, Poznań, 2008
- [2] Kowalski J., Łowińska-Kluge A., Przybyłowicz E., Orzeczenie techniczne dotyczące oceny stanu bezpieczeństwa użytkowników ze względu na odpadanie otuliny zbrojenia w rejonie międzystropia hali P1 należącej do S.A. EKOPŁYTA w Czarnkowie, Poznań, 2003
- [3] Kowalski J., Łowińska-Kluge A., Wpływ środowiska wewnętrznego na destrukcję stropów żelbetonowych, Ochrona przed Korozją nr 5s/A/2004, Warszawa

Seminaria

styczeń-październik 2009

ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ

- WARSZAWA
- KIELCE
- RZESZÓW
- KATOWICE
- GLIWICE

- ☛ Akty prawne, wymagania techniczne obiektów.
- ☛ Nowoczesne formy pozyskiwania energii.
- ☛ Energooszczędne materiały budowlane.
- ☛ Zarządzanie energią, paszporty energetyczne budynków.

www.infoinwest.pl

Info-Inwest Sp. z o.o.: 01-347 Warszawa, ul. Gabriela 4, lok. 1
tel.: 0 22 664 44 44 e-mail: redakcja@infoinwest.pl