

dr inż. Krzysztof Koziański¹⁾
ORCID: 0000-0001-9165-1930

Błędy projektowe i wady wykonawcze przyczyną zarysowań konstrukcji żelbetowej płyty stropodachu na zabytkowej baterii pieców koksowniczych

Design errors and execution defects as a cause of cracking of reinforced concrete flat roof slab constructed on a historic battery of coke ovens

DOI: 10.15199/33.2023.01.01

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę przyczyn uszkodzeń żelbetowej płyty stropodachu, wykonanej na zabytkowej baterii pieców koksowniczych. Wskutek rażących błędów projektowych i wykonawczych płyta zarysowała się na całej powierzchni. Przyjęte na etapie projektowania założenia nie spełniały podstawowych zasad i wymagań norm dotyczących tego typu konstrukcji. Błędy projektowe w trakcie budowy zostały spotęgowane wadami wykonawczymi. Próby iniekcji rys, jako docelowa naprawa płyty stropodachu, nie zostały zaakceptowane przez inwestora.

Słowa kluczowe: błędy projektowe; wady wykonawcze; rysy; płyta stropodachu.

Abstract. In the paper there is presented the analysis for causes of defects occurred for the reinforced concrete flat roof slab constructed on a historic battery of coke ovens. Due to glaring design and execution mistakes the slab was subjected to cracking over the entire surface. The assumptions made at the design stage did not satisfy the basic codes requirements and rules for design of such type of structure. Design errors were intensified by execution defects made while constructing the object. Attempts to inject cracks were not accepted by the investor as the ultimate repair method for the flat roof slab.

Keywords: design errors; execution defects; cracks; flat roof slab.

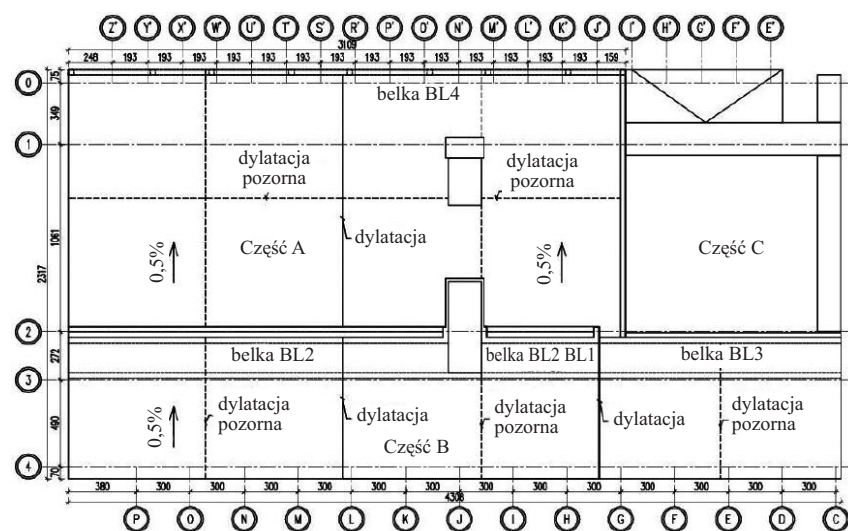
W wielu przypadkach obiekty zabytkowe o konstrukcji murewej są adaptowane do nowej funkcji użytkowej. Prace modernizacyjne często polegają na przebudowie, rozbudowie lub nadbudowie istniejących budynków. Niewłaściwe rozpoznanie stanu technicznego przebudowywanego obiektu oraz błędy popełnione na etapie projektowania i wykonywania nowej konstrukcji mogą stworzyć w trakcie realizacji robót zagrożenie bezpieczeństwa oraz wystąpienia katastrofy budowlanej [1 ÷ 4] lub, jak przedstawiono w artykule, uszkodzenia nowo wykonanej konstrukcji płyty stropodachu.

Żelbetowa płyta stropodachu, będąca przedmiotem badań i analiz, została wykonana na istniejącym stropie ceglanym baterii pieców koksowniczych (rysunek, fotografia 1), która składa się z dwóch części oznaczonych na rysunku 1 jako A (pomiędzy osiami 0-2/I'-Z') oraz B (pomiędzy osiami

2-4/C-P). Obie części baterii pieców zostały wykonane jako elementy murewane w formie sklepień kolebkowych, połączonych podłużnymi i poprzecznymi tunelami (fotografia 2). Część A tworzy 18 sklepień opartych na ścianach grubości 65 cm, których rozstaw osiowy wynosi 201 cm. Część B tworzy 14 sklepień kolebkowych opartych

na ścianach grubości 50 cm, których rozpiętość w osiach wynosi 300 cm. W części B znajduje się podłużny korytarz (pomiędzy osiami 2 – 3) szerokości 170 cm, z którym połączona jest część A.

Na podstawie wykonanych odwiertów rdzeniowych (fotografia 3) ustalono, że na sklepieniach kolebkowych dolnej baterii pieców ukształtowany jest strop z uło-



Rzut konstrukcji płyty stropodachu (opis w tekście)
Flat roof slab construction projection (description in text)

¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Łądowej; krzysztof.kozianski@pk.edu.pl



Fot. 1. Bateria pieców koksowniczych: widok z góry na oczyszczony strop ceglany
Photo 1. Battery of coke ovens: top view for the cleaned brick ceiling



Fot. 2. Sklepienia kolebkowe i korytarz
Photo 2. Barrel vaults and the corridor



Fot. 3. Odwiert rdzeniowy przez strop ceglany
Photo 3. Core drilling through a brick ceiling

zonych na płasko kilku warstw cegieł pełnych powiązanych zaprawą. Bateria pieców, przed pracami związanymi z wykonaniem płyty stropodachu, została oczyszczona z materiału biologicznego i zabrudzeń. Uzupełniono brakujące fragmenty cegieł i przemurowano elementy najbardziej uszkodzone. W części baterii wprowadzono dodatkowe usztywnienia ścian. Nad korytarzem pomiędzy osiami 2 – 3 nie odtwarzano zniszczonego sklepienia – ten fragment baterii pieców przykryto bezpośrednio żelbetową płytą stropodachu (tylko w obszarze korytarza płyta stropodachu jest widoczna od spodu).

Opis płyty stropodachu

Płytę stropodachu nad częściami A i B (rysunek) zaprojektowano z betonu C25/30 W8 oraz stali AIII-N (B500SP), o zmiennej grubości 15 ÷ 22 cm, wynikającej z ukształtowanego w niej spadku wynoszącego 0,5%. W projekcie przewidziano wykonanie konstrukcji płyty bezpośrednio na warstwie betonu podkładowego grubości 10 cm – nie zaprojektowano na niej warstwy izolacyjnej ani poślizgowej. Płyta zbrojona jest na całej powierzchni górną i dolną siatką z prętów #12 co 25 cm, z wyjątkiem części korytarzowej, pomiędzy osiami 2 – 3, gdzie zbrojona jest dołem w kierunku poprzecznym prętami #12 co 18 cm, a w kierunku podłużnym #6 co 20 cm. Co trzeci pręt zbrojenia poprzecznego dołem został odgięty i stanowi zbrojenie płyty nad belkami w osiach 2 i 3. W części środkowej korytarza, na szerokości ok. 1 m i długości 43 m, płyta nie ma zbrojenia górnego. Nad częścią A jest przedzielona jedną dylatacją pełną w środku rozpiętości, a nad częścią B zaprojektowano dwie dylatacje pełne (fotografia 4). W miejscach dylatacji pełnych zaprojektowano trzpienie dylatacyjne. W płycie stropodachu zaprojektowano również dylatacje pozorne, przez jej nacięcie na głębokość 1/3 grubości. W miejscach dylatacji pozornych zbrojenie górne płyty było przerwane już na etapie jego układania na budowie, a zbrojenie dolne zaprojektowano jako ciągłe.

Krawędź płyty, równoległa do osi 0, oparta jest na belce żelbetowej BL4 o wymiarach przekroju poprzecznego



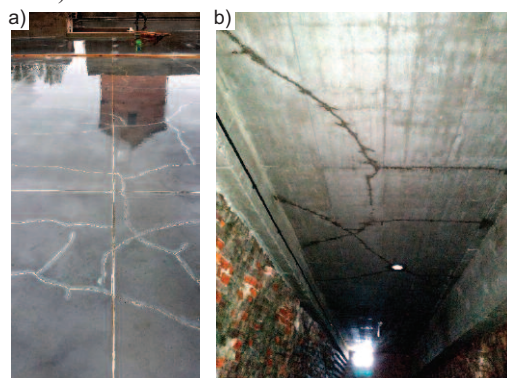
Fot. 4. Dylatacje płyty stropodachu
Photo 4. Dilatation flat roof slab

35 x 45 cm i długości ok. 31 m. Belka została monolitycznie połączona z płytą i oparta na słupach żelbetowych o wymiarach 30 x 30 cm. Wykonano ją jako ciągłą, bez dylatacji poprzecznej na całej długości.

Wzdłuż osi 2 i 3 zaprojektowano belki oparte na ścianach podłużnych baterii pieców koksowniczych. Belka w osi 2 składa się z belki schodowej BL2 o szerokości 90 cm i wysokości 67 cm oraz belki BL3 o wymiarach przekroju poprzecznego 30 x 45 cm. W belce BL2 ukształtowane są trzy stopnie schodowe. Belki BL1 i BL2 są ciągłe na całej długości, również w miejscach występowania w płycie dylatacji pełnych i pozornych.

Błędy projektowe

Analizując dostępną dokumentację projektową, stwierdzono w niej następujące nieprawidłowości, które przyczyniły się do powstania zarysowań i pęknięć na całej powierzchni płyty (fotografia 5):



Fot. 5. Zarysowania żelbetowej płyty stropodachu: a) rysy widoczne na całej powierzchni płyty; b) rysy widoczne od spodu płyty korytarza

Photo 5. Cracking of the reinforced concrete flat roof slab: a) cracks visible over the entire surface; b) cracks corridor visible on the bottom side

- płytę stropodachu zaprojektowano bezpośrednio na warstwie betonu podkładowego; nie zastosowano warstwy poślizgowej, w wyniku czego zablokowano możliwość jej swobodnego przesuwu na styku z warstwą betonu podkładowego, również sztywno połączonego ze stropem ceglany;

- w wyniku zablokowania możliwości swobodnego przesuwu płyty zaprojektowane dylatacje pełne oraz pozorne okazały się nieskuteczne, o czym świadczą pojawienie się rys równoległych

do dylatacji, również w bardzo bliskiej odległości od niej;

- dylatacje w płycie nie zostały wykonane w belkach: BL4 (oś 0), BL3 (oś 2) i BL1 (oś 1) – belki wykonano jako ciągłe na całej długości, co spowodowało dodatkowy brak możliwości odkształceń i nieskuteczność dylatacji zaprojektowanych w płycie;

- zbrojenie górne płyty ułożono poziomo, a warstwę spadkową ukształtowano w grubości otuliny. Takie rozwiązanie projektowe wymusiło konieczność zastosowania w płycie otuliny nawet 90 mm. Tak duża otulina zbrojenia jest bardzo podatna na zarysowania, zwłaszcza w płycie stropodachu, która poddana jest działaniu dużych obciążeń termicznych i skurczowych;

- w części B płyty, w trakcie korytarzowym pomiędzy osiami 2 – 3 (w środku na szerokości 1 m i długości 43 m), nie zaprojektowano zbrojenia górnego płyty, a dołem w kierunku podłużnym przyjęto tylko pręty rozdzielcze #6 co 20 cm. W projekcie założono, że płyta korytarza oparta jest na belkach podłużnych w osi 2 i 3 i pracuje jednokierunkowo tylko na zginanie. Płyta powinna być zbrojona górną i dołną na całej powierzchni co najmniej siatką zbrojenia minimalnego, ponieważ w wyniku oddziaływań termiczno-skurczowych może być rozciągana oraz zginana zarówno górną, jak i dołną;

- zastosowana przez projektanta siatka zbrojenia w postaci prętów #12 co 25 cm = 4,52 cm²/m nie spełnia wymagań normowych, dotyczących minimalnego zbrojenia ze względu na zarysowanie – dotyczy to obszarów płyty o grubości większej niż 17 cm;

- występujące w dolnej płycie dwa naświetla w osi N⁷ i J nie zostały oddylatowane od płyty stropodachu. Dodatkowo w płycie stropodachu, w narożach naświetli, nie zastosowano dodatkowego zbrojenia prostokątnego do dwusiecznej kąta (przez analogię do zbrojenia naroży otworów). Brak dylatacji oraz dodatkowego zbrojenia spowodował powstanie rys ukośnych w narożach.

Błędy wykonawcze

W płycie stropodachu wykonano skanowanie zbrojenia, odwierty rdzeniowe oraz badania wytrzymałości pobranych

próbek betonu. Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz stwierdzono, że: otulina zbrojenia górnego w płycie wynosiła nawet 17 cm (fotografia 6), co potwierdzają wykonane odwierty rdzeniowe oraz skanowanie zbrojenia; grubość płyty jest większa od założonej w dokumentacji projektowej nawet o ok. 10 cm; płytę wykonano z betonu klasy C40/50 zamiast zaprojektowanej C25/30; dylatacje pozorne nie zostały wykonane bezpośrednio po stwardnieniu betonu; płyta nie była właściwie pielęgnowana. Wykonanie płyty o znacznie większej grubości oraz zastosowanie przez wykonawcę betonu o trzy klasy wyższego wiąże się z koniecznością zastosowania większej ilości zbrojenia minimalnego. Zakładając zwiększoną grubość płyty oraz zastosowanie betonu klasy C40/50, zbrojenie minimalne, przyjęte na etapie projektowania, powinno być zwiększone co najmniej dwukrotnie.



Fot. 6. Odwiert rdzeniowy przez płytę stropodachu i beton podkładowy – otulina zbrojenia górnego ma 17 cm

Photo. 6. Core drilling through flat roof slab and lean concrete – top reinforcement cover equal to 17 cm

Wnioski

W artykule przedstawiono przykłady rażących błędów popełnionych na etapie projektowania oraz wykonywania płyty stropodachu, które spowodowały powstanie zarysowań na całej powierzchni. Rysy w części korytarzowej obejmowały całą grubość stropodachu, a w pozostałych miejscach sięgały do zbrojenia dolnego – głębokość rys

ustalono na podstawie wykonanych odwiertów rdzeniowych. Tego typu płyty narażone są na duże naprężenia termiczno-skurczowe, które generują ich rozciąganie i w przypadku niewłaściwie zaprojektowanego zbrojenia powodują zarysowanie. Siły te można zmniejszyć przez odpowiednie ukształtowanie dylatacji oraz właściwie zaprojektowane i wykonane zbrojenie. Niezwykle istotny jest również skład mieszanki betonowej oraz pielęgnacja betonu. Należy pamiętać, że nie można zwiększać grubości i klasy betonu bez konsultacji z projektantem, ponieważ im płyta ma większą grubość i wykonana jest z betonu wyższej klasy, tym większe są w niej naprężenia termiczno-skurczowe. Generuje to potrzebę zastosowania większej ilości zbrojenia minimalnego wymaganego ze względu na zarysowanie.

Próby iniekcji rys nie zostały zaakceptowane przez inwestora jako docelowa naprawa płyty stropodachu, która miała jednocześnie pełnić funkcję posadzki. Oprócz iniekcji rys zalecono wykonanie posadzki żywicznej na uszkodzonej płycie, zdolnej do mostkowania rys i pęknięć, zarówno w dodatniej, jak i ujemnej temperaturze. Tego typu rozwiązania często stosowane są w przypadku naprawy posadzek przemysłowych [5]. Zapewniają one również właściwą odporność na poślizg.

Literatura

- [1] Ligęza W, Matysek P, Płachecki M. Analiza przyczyn katastrofy ściany nośnej przy adaptacji zabytkowego obiektu przemysłowego. XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna, Awarie Budowlane – zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje, s. 547 – 554, Szczecin-Międzydroje 2009.
- [2] Ligęza W. Potencjalne obszary zagrożenia bezpieczeństwa konstrukcji przy modernizacji obiektów zabytkowych. Czasopismo Techniczne, Architektura Zeszyt 18, 8-A/2010: 251 – 258.
- [3] Bednarz Ł, Opalka P. Propozycja naprawy i wzmocnienia sklepienia ceglanego uszkodzonego podczas katastrofy budowlanej. Materiały Budowlane. 2019; 3: 36 – 38.
- [4] Płachecki M, Koziński K. Analiza przyczyn dwóch katastrof budowlanych adaptowanych zabytkowych budynków o konstrukcji murej. Inżynieria i Budownictwo. 2017; 7: 355 – 359.
- [5] Czarniecki L. Uszkodzenia i naprawy posadzek przemysłowych. Materiały Budowlane. 2008; 9 (433): 20 – 24 i 26 – 27.

Przyjęto do druku: 22.12.2022 r.