

Zakotwienia w dźwigarach kablobetonowych KBO, KBOS i KBS

prof. dr hab. inż. Jacek Hulimka, Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

Kablobetonowe dźwigary dachowe stosowane były w Polsce od połowy lat 50. do połowy lat 70. dwudziestego wieku. We wciąż istniejących obiektach ich liczbę oszacować można na kilka – kilkanaście tysięcy, stanowią zatem rozwiązanie, które należy traktować jako powszechne. Różnorodność stosowanych dźwigarów była ogromna, bowiem obok elementów ujętych w kolejnych katalogach konstrukcji sprężonych [1, 2, 3] pojawiały się nieskatalogowane projekty typowe (zwykle stosowane w pojedynczych realizacjach) oraz elementy zgodne z normami branżowymi, a także indywidualne rozwiązania nieobjęte typizacją (w tym niezrealizowane w praktyce). Biorąc pod uwagę poszczególne wersje typowych dźwigarów KBO i KBOS o tych samych oznaczeniach formalnych, liczba odrębnych rozwiązań stosowanych w praktyce dźwigarów przekraczała 50, a uwzględniając dopuszczalne zróżnicowanie liczby kabli sprężających w poszczególnych typach dźwigarów było to około 80 różnych rozwiązań [4]. Pomimo ogromnego zróżnicowania dźwigarów, praktycznie wszystkie sprężane były kablami systemu Freyssineta (najczęściej 12Φ5, rzadziej 9Φ5, 18Φ5 i 24Φ5 mm), co skutkowało

stosowaniem zakotwień typu stożkowego. Zarówno bloki kotwiące, jak i stożki mogły być wykonane jako betonowe lub stalowe, co teoretycznie dawało cztery możliwe kombinacje, z których w praktyce stosowano trzy [5]:

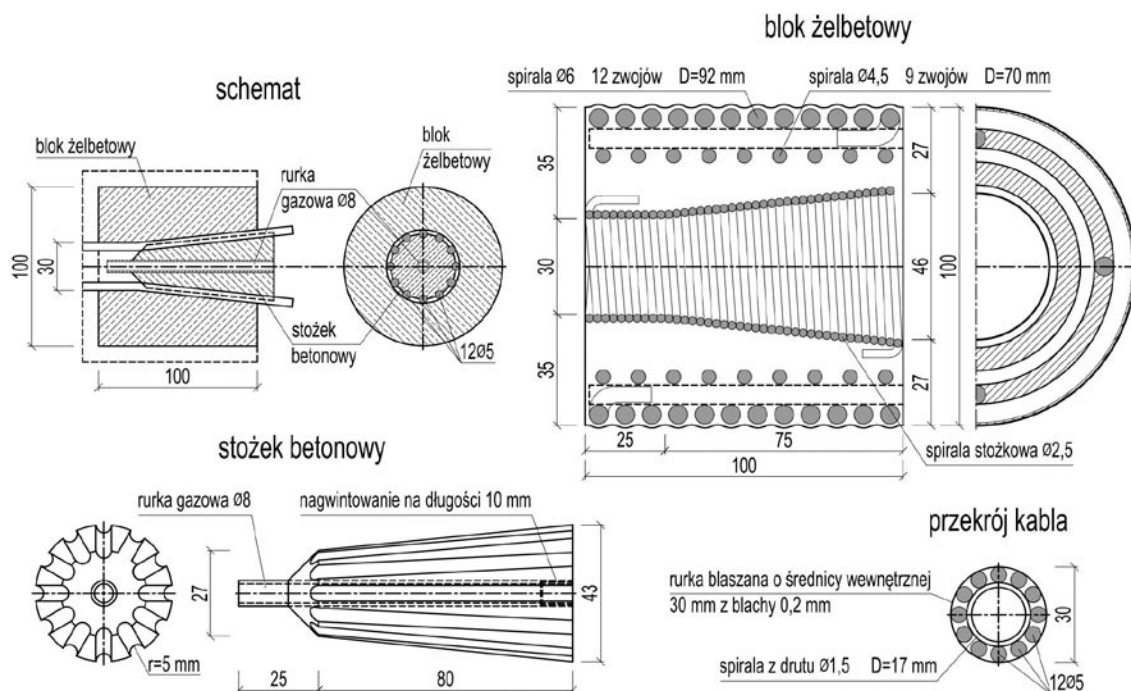
- żelbetowe bloki i betonowe stożki,
- stalowe bloki i stożki,
- żelbetowe bloki i stalowe stożki.

Pewną ciekawostką jest fakt zastosowania w pierwszej w Polsce realizacji dźwigarów kablobetonowych wszystkich trzech kombinacji w jednym obiekcie, w celu prowadzenia obserwacji porównawczych [6].

Pomimo powszechnego przekonania o przewadze zakotwień stalowych nad betonowymi w pierwszych realizacjach częściej stosowano elementy żelbetowe jako zalecane w obliczu bardzo restrykcyjnych przepisów w zakresie oszczędności stali w konstrukcjach budowlanych.

Niezależnie od rozwiązań materiałowych w roku 1954 [7] sformułowano następujące warunki stawiane zakotwieńiom kabli sprężających:

- przekazanie sił z kabli na elementy kotwiące przez tarcie drutów o pobocznicę stożków i otworów w blokach kotwiących,



Rys. 1. Szczegóły żelbetowych bloków i betonowych stożków kotwiących według [10, 11]

- zniszczenie połączeń przez zerwanie drutów (nośność kotwienia większa od nośności kabli),
- minimalizacja poślizgu drutów w zakotwieniach (w fazie kotwienia i przy zniszczeniu),
- wysoka trwałość elementów kotwiących.

2. Opis szczegółowych rozwiązań

2.1. Żelbetowe bloki i betonowe stożki kotwiące – rozwiązania techniczne i materiałowe

Żelbetowe bloki kotwiące w założeniu mogły być wbetonowane w czołowy fragment dźwigara (co było rozwiązaniem zalecanym [8]), ułożone poza elementem konstrukcyjnym (na jego czołowej powierzchni) lub wbetonowane w prefabrykowaną płytę (co stosowano w mostownictwie). Pierwsze rozwiązania bloków żelbetowych pojawiły się już w roku 1952 [9], jednak masową ich produkcję rozpoczęto w roku 1956. W pierwszych realizacjach eksperymentowano zarówno z wysokością bloków kotwiących (od 100 do 80 mm), jak i z kształtem otworu z tworzącymi prosto- lub krzywoliniowymi. W katalogach [10, 11] pojawiły się ostatecznie rozwiązania przystosowane do kotwienia kabli od 9Φ5 do 12Φ5 mm. Bloki kotwiące miały tu grubość i średnicę 100 mm i silne zbrojenie obwodowe, a otwór na stożek kotwiący dodatkowo był wykończony spiralą ze stali strunowej (rys. 1).

Betonowe stożki kotwiące pierwotnie wykonywano z wewnętrznym zbrojeniem w postaci spirali i gładką poboczną, ostatecznie jednak zrezygnowano ze zbrojenia, a pobocznice formowano w sposób pozwalający na równomierne rozłożenie i ustabilizowanie drutów kabla (rys. 1). W osiach stożków osadzano rurki stalowe umożliwiające wprowadzenie iniektu do kanałów kablowych.

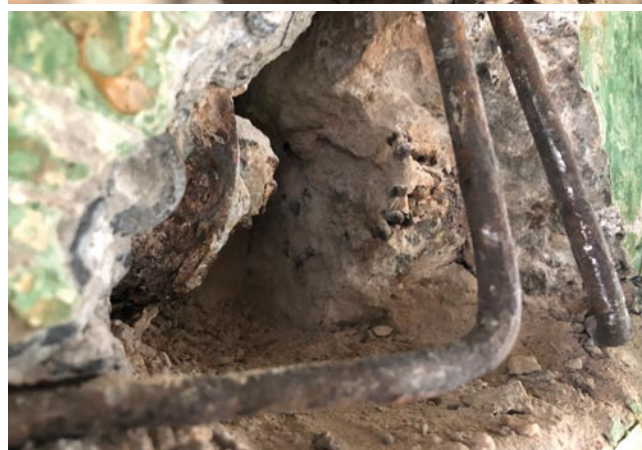
W katalogach [10, 11] zalecano wykonanie bloków i stożków kotwiących z betonu marki 400, lecz dość szybko parametry te uznano jako zbyt niskie. W roku 1955 [12] jako minimalną uznawano markę betonu 500, a seryjnie produkowane w latach 60. ubiegłego wieku bloki były z betonów marek 700–800 [9]. Część z nich wykonywano metodą prasowania z dojrzewaniem termicznym – które realizowano, gotując formy ze wstępnie związanymi elementami [13].

Bloki i stożki wykonane z betonu cieszyły się znaczną popularnością jeszcze w latach 60. XX wieku, lecz w literaturze podkreślano kłopoty z uzyskaniem betonów drobnoziarnistych o odpowiednio wysokich parametrach. Przykładowo były one produkowane w Politechnice Krakowskiej (średnica 100 mm, wysokość 80 mm, beton marki 500) i Politechnice Warszawskiej (wysokość 100 mm, pozostałe parametry identyczne) [14], a także przez wybrane zakłady przemysłowe (średnica 100 mm, wysokość 85 mm, beton marek 700–800) [13].

Szczegóły zakotwienia z betonu (żelbetu) pokazano na rysunku 2, a przykład żelbetowego bloku kotwiącego z betonowym stożkiem kotwiącym, wbetonowanego w podporowy odcinek dźwigara – na rysunku 3. Rozwiązanie takie nie



Rys. 2. Widok i przekrój zakotwienia z betonu (żelbetu)

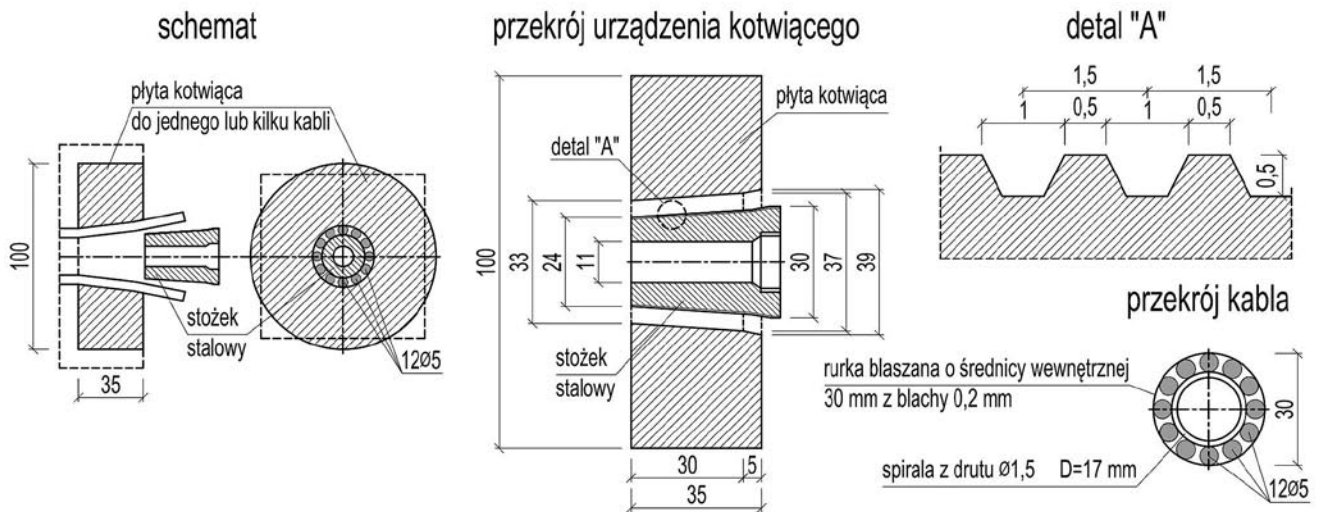


Rys. 3. Przykład żelbetowego bloku kotwiącego widocznego w odkrywcze

wymagało stosowania dodatkowego obetonowania ochronnego, bowiem elementy kotwiące były osłonięte betonem konstrukcyjnym.

2.2. Stalowe bloki i stożki kotwiące

Bloki i stożki kotwiące ze stali uważane były za bardziej niezawodne, jednak początkowo nie były popularne z powodu znacznego zużycia deficytowej stali. W pierwszych katalogach [10, 11] jako wskazane rozwiązanie traktowano bloki kwadratowe lub kołowe o grubości 35 mm, wynikającej z wymaganej nośności na rozerwanie (rys. 4). Średnice bloków (lub ich krawędzie) dostosowane były do wytrzymałości betonu w sprężanym elemencie (co obliczano z warunków docisku); przykładowo dla kabli 12Φ5 mm zalecano bloki o średnicy od 118 do 87 mm, odpowiednio dla betonów marek od 300



Rys. 4. Szczegóły stalowych bloków i stożków kotwiących według [10, 11]

do 600 [15]. Przedmiotem licznych dyskusji był sposób ukształtowania poboczniczy otworu w bloku kotwiącym oraz stożka kotwiącego. Początkowo jako właściwe uważano ostre karbowanie trójkątne, jednak awarie tak kotwionych kabli skutkowały zaleceniem stosowania karbów trapezowych (detal „A” na rysunku 4). Zasady wykonania i stosowania stalowych zakotwień zostały uporządkowane w instrukcji [16] z 1967 roku, generalnie spójnej z katalogami [10, 11].

W efekcie licznych badań opracowano zasady materiałowe dotyczące bloków i stożków kotwiących. Zasadniczym parametrem była tu twardość w skali Rockwella. W większości źródeł jako wystarczającą w przypadku bloków kotwiących uznawano twardość 45, a w przypadku stożków twardość 60. Jednocześnie jednak znane są przypadki produkcji i stosowania elementów o znacznie niższych twardościach – zgodnie z normą branżową [17] od bloków ze stali St5 lub St6 wymagano zahartowania do twardości z zakresu 18–25, a od stożków ze stali St6 z zakresu 45–55. W połowie lat 60. XX wieku od stożków kotwiących wymagano już twardości co najmniej 50 (to jest wyższej od twardości drutów tworzących kable sprężające), z uwagi na kruchość ograniczając ją do wartości 58. We wspomnianej już instrukcji [16] do wykonania bloków kotwiących zalecano stal 45, a do stożków kotwiących – stal 65.

Pierwsze zakotwienia stalowe produkowane były w Strzybnickich Zakładach Betoniarskich i Żelbetowych (na potrzeby własne) oraz w Zasadniczej Szkole Zawodowej w Żyrardowie – tu z pociętych na plastry zużytych osi wagonowych.

Ze względu na usytuowanie zakotwień na czołowych powierzchniach dźwigarów, to jest poza betonem konstrukcyjnym, wymagane było ich obetonowanie ochronne. Było ono realizowane w różnym okresie istnienia dźwigarów, co wynikało z technologii sprężania. Generalnie możliwe były trzy scenariusze:

- wykonanie obetonowania zakotwień w zakładzie prefabrykacji – stosowane w przypadku elementów sprężanych

w wytwórni i transportowanych w całości (przykładem są popularne dźwigary typu KBO);

- wykonanie obetonowania na placu budowy, po scaleniu i jednoetapowym sprężeniu dźwigarów (typowe dźwigary KBOS) lub po ich wykonaniu od początku na placu budowy (pierwsze realizacje elementów KBO) – „na dole”, to jest przed podniesieniem i wbudowaniem elementów;
- jak wyżej, lecz „na górze”, to jest po podniesieniu i wbudowaniu dźwigarów, co dotyczyło długich elementów (większość dźwigarów specjalnych o długości 30 i więcej metrów), w przypadku których część kabli była naprężana „na dole”, a część „na górze”, po dociążeniu konstrukcji płytami dachowymi.

W literaturze tematu niewiele miejsca poświęcono zagadnieniom materiałowym dotyczącym obetonowań bloków kotwiących, lecz w zachowanych dokumentacjach projektowych jest wskazany beton marki 200. Znajduje to potwierdzenie w poradniku [18], podczas gdy wymagania normowe z końcowego okresu stosowania dźwigarów [19] wymagają stosowania betonu o wytrzymałości gwarantowanej nie mniejszej od 180 kg/cm².

2.3. Rozwiązanie mieszane – żelbetowe bloki i stalowe stożki

Rozwiązanie kombinowane, w postaci kotwienia kabli w blokach żelbetowych przy użyciu gładkich stożków stalowych, zostało opracowane w roku 1956 [9]. W założeniach geometrycznych i materiałowych używane tu elementy były zgodne z rozwiązaniami opisanymi w poprzednich rozdziałach. Kotwienie takie było zalecane w przypadkach wymagających wielostopniowego naprężania kabli, a zatem konieczności ich odkotwienia. Rozwiązanie to, jakkolwiek niezbyt popularne, było stosowane w Warszawskich Zakładach Betoniarskich i Żelbetowych [20], a wykorzystywano w nim elementy (bloki i stożki) produkowane w Katedrze Prefabrykacji i Betonu Sprężonego Politechniki Warszawskiej.

3. Wady zakotwień i ich obetonowań oraz ocena stanu technicznego

Typowe dźwigary kablobetonowe wykonywane były z betonu marki 400 (wyjątkowo 500), a zatem z materiału stanowiącego dobre zabezpieczenie stali zbrojeniowej i sprężającej przed korozją. Jednak zakotwienia kabli sprężających (poza wczesnymi rozwiązaniami, w których elementy kotwiące były obetonowane w konstrukcji dźwigarów) usytuowane były poza właściwymi elementami i chronione jedynie cienką warstwą betonu marki 200. Samo w sobie rozwiązanie takie było prawidłowe, jednak pod warunkiem wykonania betonu ochronnego w odpowiednio staranny sposób. Jak opisano w p. 2.2, obetonowanie zakotwień mogło być realizowane w trzech różnych etapach istnienia danego dźwigara, co istotnie rzutowało na jakość wykonania. I tak, najlepszej jakości były zwykle obetonowania wykonane w wytwórni prefabrykatów (choć grafiło im uszkodzenie w transporcie), nieco gorsza była jakość obetonowań wykonywanych

na placu budowy „na dole”, najgorzej natomiast wykonane były obetonowania realizowane „na górze”, to jest po wbudowaniu dźwigarów. Powyższe należy tłumaczyć znacznie gorszym dostępem, zmiennymi warunkami zewnętrznymi oraz brakiem odpowiedniego nadzoru. Brak lub bardzo słaba jakość obetonowań skutkowałą brakiem właściwej ochrony antykorozyjnej stalowych elementów zakotwień (rys. 5). Kolejnym problemem było narażenie stref zakotwień kabli (a, tym samym, bloków i stożków kotwiących) na bezpośrednie lub pośrednie zawilgocenie. W skrajnych przypadkach źle wykonanych konstrukcji elementy te były regularnie zalewane wodą z połaci dachowych, a dodatkowo narażone na przemarzanie. Problemy te spotęgowane były złą wentylacją części hal. Dodatkowy problem stanowiło spotykane w części obiektów wbetonowanie bloków kotwiących w belki ocieplone lub szczelne obudowanie blachami tworzącymi bezodpływowe przestrzenie (rys. 5e). W efekcie obetonowania zakotwień mające w założeniu stanowić ich ochronę antykorozyjną, w praktyce przyczyniały się do ich narażenia



Rys. 5. Wybrane problemy w zakresie obetonowania bloków kotwiących: a) bardzo słaby beton, b, c) brak obetonowania, d) nasiąkliwy beton z kawałkami cegieł, e) szczelne obudowanie blachami, f) wspólne obetonowanie bloków kotwiących sąsiadujących dźwigarów

na zawilgocenie. O ilościowym zakresie opisanego problemu świadczyć mogą historyczne zestawienia bazujące na przeglądach znacznej liczby dźwigarów – przykładowo w wyniku przeglądu obejmującego około 3000 elementów [21] stwierdzono wady obetonowania zakotwień w 35% dźwigarów, w tym w 7% całkowity brak zabezpieczeń.

Następnym problemem eksploatacyjnym było niedostosowanie konstrukcji do warunków użytkowania. Co prawda istniały szczegółowe wytyczne w zakresie stosowania dźwigarów kablobetonowych w środowiskach o podwyższonej agresji [22, 23], lecz nie zawsze były one stosowane. Oczywiście kluczowa była tu kombinacja jakości obetonowania i agresji środowiska – dopiero niekorzystna koincydencja złej jakości obetonowań i zawilgocenia lub agresji chemicznej skutkowała złym stanem technicznym bloków i stożków kotwiących. Niestęchanie ważny był też stan pokrycia dachowego, zwłaszcza w korytach spływowych na stykach naw.

Specyficznym błędem wykonawczym, spotykanym dość często w praktyce, było wykonanie wspólnego obetonowania stref zakotwień sąsiadujących ze sobą dźwigarów, pokazane na rysunku 5f. Sytuacja taka najczęściej dotyczyła doprężanych „na górze” dźwigarów o długości co najmniej 30 m, w których obetonowanie stref zakotwień wykonywano po wbudowaniu elementów. Teoretycznie każda ze stref zakotwień powinna być obetonowana osobno, z pozostawieniem szczeliny pomiędzy dźwigarami. W praktyce wykonawcy ułatwiali sobie życie, wykonując wspólne obetonowania – co czasem było nie do uniknięcia wobec pozostawiania zbyt długich końcówek kabli, uniemożliwiających wydzielenie dwóch odrębnych obetonowań. Opisana sytuacja skutkowała silnym porysowaniem betonu ochronnego wskutek zmian termicznych oraz ugięć dźwigarów.

Jak widać, głównym problemem technicznym zakotwień było ich narażenie na działania czynników korozyjnych w warunkach niedostatecznego zabezpieczenia powierzchniowego, a nawet jego braku. W efekcie powyższego podstawową, powszechnie stwierdzaną wadą była i wciąż jest korozja elementów kotwiących i zewnętrznych końcówek kabli sprężających. Zasięg i intensywność uszkodzeń korozyjnych zależą oczywiście od narażenia końcówki danego dźwigara na czynniki korozyjne oraz od jakości i stanu obetonowania ochronnego. Tym samym nawet w ramach jednego obiektu spotkać można bardzo szeroki zakres stanu elementów kotwiących – od bardzo dobrego w przypadku prawidłowo obetonowanych zakotwień nienarażonych na zawilgocenie i agresję chemiczną, po bardzo zły w przypadku źle obetonowanych zakotwień zlokalizowanych pod przeciekami przez połac dachową. Paradoksalnie, całkowity brak betonu ochronnego, skutkujący możliwością szybkiego wysychania, często był dla zakotwień korzystniejszy od ich obetonowania słabym, nasiąkliwym betonem, dodatkowo „domkniętym” blachami utrudniającymi odpływ wody.

W zakresie diagnostyki stanu zakotwień obowiązują zasady identyczne jak dla każdego typu elementów konstrukcyjnych,

z uwzględnieniem wytycznych zawartych w odpowiednich opracowaniach Instytutu Techniki Budowlanej, w tym najnowszych wytycznych [24] z 2018 roku. Wytyczne te, a także zalecenia zawarte we wcześniejszych opracowaniach ITB zostały szczegółowo skomentowane w monografii [4]. Odnosnie diagnostyki zakotwień podkreślić trzeba konieczność rozpoznania i oceny warunków środowiskowych (nie tylko aktualnych, ale także w całym okresie użytkowania obiektu), co czasem jest trudne wobec braku archiwalnej dokumentacji technologicznej. Z pomocą przychodzą tu badania chemiczne betonu (w tym pobranego z obetonowań zakotwień), pozwalające na obiektywną ocenę skumulowanego wpływu oddziaływań środowiskowych na elementy konstrukcyjne. Przykładem z badań własnych może być ogrzewana i wentylowana hala magazynowa w wizualnie dobrym stanie technicznym, w której odkrywki do stref zakotwień wykazały wyraźne uszkodzenia korozyjne. Znalazło to potwierdzenie w wynikach badań chemicznych betonu ochronnego. Analiza zachowanych fragmentów dokumentacji potwierdziła prowadzenie w hali w latach 60. XX wieku agresywnych procesów chemicznych.

Diagnostyka stref zakotwień kabli sprężających wydaje się łatwa, w większości sprowadza się bowiem do wizualnej oceny stanu obetonowania i stanu korozyjnego bloków kotwiących, stożków i końcówek kabli, a także wykonania wspomnianych już badań chemicznych. W praktyce przegląd taki jest bardzo utrudniony z uwagi na brak dostępu oraz konieczność wykonywania rozkuć lub usuwania blach stabilizujących dźwigary. Ponadto, o czym już wspomniiano, stan poszczególnych zakotwień w tym samym obiekcie może być bardzo różny, zatem wyniki wybiórczo prowadzonych badań mogą nie być reprezentatywne.

Efektom prawidłowo wykonanej diagnostyki muszą być zalecenia w zakresie niezbędnych do wykonania prac naprawczych. W przypadku zakotwień typowymi zaleceniami są: udostępnienie i oczyszczenie niewłaściwie zabezpieczonych/skorodowanych elementów kotwiących i wykonanie zabezpieczeń antykorozyjnych. Generalnie nie należy jednak wykonywać tych prac „na siłę” – tam, gdzie stan obetonowań jest dobry, a korozja elementów stalowych ma charakter powierzchniowy, nadmierna ingerencja może spowodować więcej szkód jak pożytku, a niewłaściwie prowadzone odkrywki mogą doprowadzić do poluzowania stożków kotwiących. Z kolei w przypadku braku obetonowania zakotwień zwykle wystarczy wykonanie odpowiednich powłok antykorozyjnych (z wykorzystaniem inhibitorów korozji, bowiem dokładne oczyszczenie elementów z rdzy nie jest możliwe), bez próby wykonania obetonowań. Przekonanie takie wynika z własnych obserwacji dźwigarów, w których próby wtórnego obetonowania stref zakotwień nie przyniosły zahamowania postępu korozji. Jeśli do udostępnienia stref zakotwień konieczne było wycięcie blach lub profili stalowych stabilizujących dźwigary na podporach, nie ma potrzeby ich odtwarzania,

bowiem w zmontowanej konstrukcji ze zmonolityzowaną połącją dachową są one niepotrzebne.

Generalnym zaleceniem musi być dbałość o szczelność pokrycia dachowego i prawidłową wentylację hal, to jest o zabezpieczenie stref zakotwień przed zawilgoceniem.

4. Podsumowanie

Pomimo pozornej prostoty rozwiązań technicznych, zakotwienia kabli Freyssineta stanowiły w latach 50. i 60. dwudziestego wieku poważne wyzwanie techniczne i materiałowe. Do podstawowych problemów należało wykonanie drobnoziarnistych betonów o stałych i odpowiednio wysokich parametrach wytrzymałościowych (w przypadku bloków żelbetowych i stożków betonowych) oraz zahartowanie do optymalnej twardości i właściwe ukształtowanie powierzchni docisku (w elementach stalowych). Pomimo tego uzyskano rozwiązania techniczne o trwałości pozwalającej na bezawaryjne użytkowanie dźwigarów w długim okresie – najstarsze z nich mają obecnie niemal 70 lat. Większym problemem okazało się odpowiednio skuteczne i trwałe zabezpieczenie antykorozyjne elementów kotwiących, często narażonych na silne zawilgocenie, a trudno dostępnych do diagnostyki i konserwacji – tu jednak z pomocą przychodzą obecnie dostępne materiały do napraw i ochrony antykorozyjnej elementów konstrukcyjnych. W efekcie, pomimo wielu lat eksploatacji w różnych warunkach, większość istniejących do dzisiaj dachowych dźwigarów kablobetonowych może być nadal użytkowana w sposób bezpieczny.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Katalog projektów konstrukcji sprężonych. BSiPTBP, Warszawa, 1954
- [2] Katalog projektów konstrukcji sprężonych, wydanie II uzupełnione, BSiPTBP, Warszawa, 1955
- [3] Katalog projektów konstrukcji sprężonych, wydanie III uzupełnione, BSiPTBP, Warszawa, 1957
- [4] Hulimka J., Kablobetonowe dźwigary prętowe w obiektach budowlanych. Doświadczenia w zakresie diagnostyki i eksploatacji, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2019
- [5] Cieszyński K., Zakotwienia stożkowe kabli wielożyłowych dużej mocy, [w]: Wykonywanie i ekonomika konstrukcji sprężonych w kraju. Referaty, Politechnika Warszawska, 1960
- [6] Zieliński Z., Masłowski A., Pierwsze w Polsce zastosowanie kablobetonu w budownictwie przemysłowym, Budownictwo Przemysłowe 4/1954
- [7] Ćwiok Z., Zieliński J., Zakotwienia stożkowe w betonie kablowym, Inżynieria i Budownictwo 9/1954
- [8] Olszak W., Konstrukcje wstępnie sprężone, tom I, PWN, 1955
- [9] Ciesielski J., Ziobroń W., Doświadczenia z produkcji i zastosowania żelbetowych zakotwień w konstrukcjach kablobetonowych, Inżynieria i Budownictwo 2/1960
- [10] Zakotwienia w konstrukcjach sprężonych, BSiPTBP, Warszawa, 1954
- [11] Zakotwienia w konstrukcjach sprężonych, BSiPTBP, Warszawa, 1955
- [12] Kluz T., Technika i wytyczne wykonywania sprężonych belek kablowych, BiA, 1955
- [13] Cieszyński K., Zakotwienia samozaciskowe w betonie kablowym i strunowym, [w]: Kluz T. (red.) Beton sprężony. Konstrukcje i technologia, tom I, OITiEWB, 1968
- [14] Kuś S., Włodarz A., Zalewski W., Zieliński Z., Konstrukcje sprężone, Informator Projektanta Przemysłowego 17, BSiPTBP, 1960
- [15] Kaufman S., Olszak W., Eimer C. Konstrukcje sprężone (Budownictwo betonowe, tom III), Arkady, 1965
- [16] Cieszyński K., Wróblewski S., Instrukcja wykonania, odbioru i stosowania stalowych zakotwień kabli sprężających odcinkowych, ITB, Arkady, 1967
- [17] BN-63/9014-01: Dachowe dźwigary kablobetonowe monolityczne i składane, Zjednoczenie Przemysłu Betonów, 1963
- [18] Kuś S., Włodarz A., Żórawski A., Konstrukcje sprężone, wydanie III znowelizowane, Poradnik Projektanta Przemysłowego, Temat 17., BSiPTBP, 1966
- [19] PN-72/B-06270: Roboty betonowe i żelbetowe. Konstrukcje kablobetonowe. Wymagania i badania przy odbiorze, PKNiM, 1972
- [20] Dąbrowski Z., Flak S., Produkcja prefabrykowanych dźwigarów kablobetonowych do trybun sztucznego lodowiska w Warszawie, Inżynieria i Budownictwo 1/1955
- [21] Runkiewicz L., Mroczkowski W., Ocena wytrzymałościowa dachowych dźwigarów sprężonych z betonu w czasie eksploatacji, Przegląd Budowlany 4/1989
- [22] Han Z., Suchan M., Pol W., Kosiński S., Instrukcja zabezpieczania przed korozją konstrukcji betonowych, żelbetowych i sprężonych pracujących w środowiskach agresywnych, ITB, 1969
- [23] Dubrzyńska H., Gudaj A., Han Z., Rojek Z., Suchan M., Ściślewska Z., Instrukcja zabezpieczania przed korozją konstrukcji betonowych, Instrukcja nr 173, ITB, 1975
- [24] Runkiewicz L., Ocena stanu technicznego kablobetonowych dźwigarów dachowych. Wytyczne, ITB, 2018

13th Central European Congress on Concrete Engineering

Next Generation of Concrete Engineering for Post-Pandemic Europe

13-14th September 2022

Zakopane, Poland

ccc2022@infrateam.eu