

Ocena stanu technicznego sprężonych dźwigarów dachowych w eksploatowanych obiektach budowlanych

Prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz, Instytut Techniki Budowlanej, Politechnika Warszawska, mgr inż. Stanisław Plechawski, Biuro Projektowe PLANEX

1. Wprowadzenie

W Polsce, do konstrukcji dachowych obiektów budowlanych stosowane były od wielu lat żelbetonowe elementy strunobetonowe oraz dźwigary kablodetonowe. Ogółem zastosowano je dotychczas w kilku tysiącach obiektów budownictwa przemysłowego, magazynowego, ogólnego, rolniczego oraz specjalnego.

Pierwsze prefabrykowane strunobetonowe elementy sprężone zastosowano w Polsce na początku lat pięćdziesiątych. Były to belki o stałym przekroju dwuteowym, sprężone pojedynczymi drutami \varnothing 2,3 mm, stosowane przede wszystkim jako elementy nośne przekryć budynków przemysłowych. Elementy te zostały objęte typizacją jako dźwigary strunobetonowe typu SB-1 o rozpiętościach: 9,0; 12,0 i 15,0 m, a następnie modyfikowane m.in. jako dźwigary typu FF.

Natomiast pierwsze kablodetonowe dźwigary zastosowano w Polsce w połowie lat pięćdziesiątych. Schematem konstrukcyjnym dźwigara dachowego jest na ogół łuk ze sztywnym pasem dolnym – ściąganiem. Pas dolny sprężony jest za pomocą kabli.

W latach sześćdziesiątych w niedługim okresie zastosowano w wielu obiektach halowych dźwigary kablodetonowe typu KBO (monolityczne), a następnie KBOS (składane) o rozpiętościach: 15,0; 18,0; 21,0 i 24,0 m (fot. 1).

Oprócz dźwigarów typowych zaprojektowano kilka typów dźwigarów kablodetonowych specjalnych z przeznaczeniem dla poszczególnych obiektów przemysłowych, np. dźwigary typu: „Żerań 18” (rozpiętość 18 m), „Torwar 9+12” (wspornikowy 9+12), „Odra-30” (rozpiętość 30 m), „Strzybnica-36” (rozpiętość 36 m), „Hangar-42” (rozpiętość 42 m).

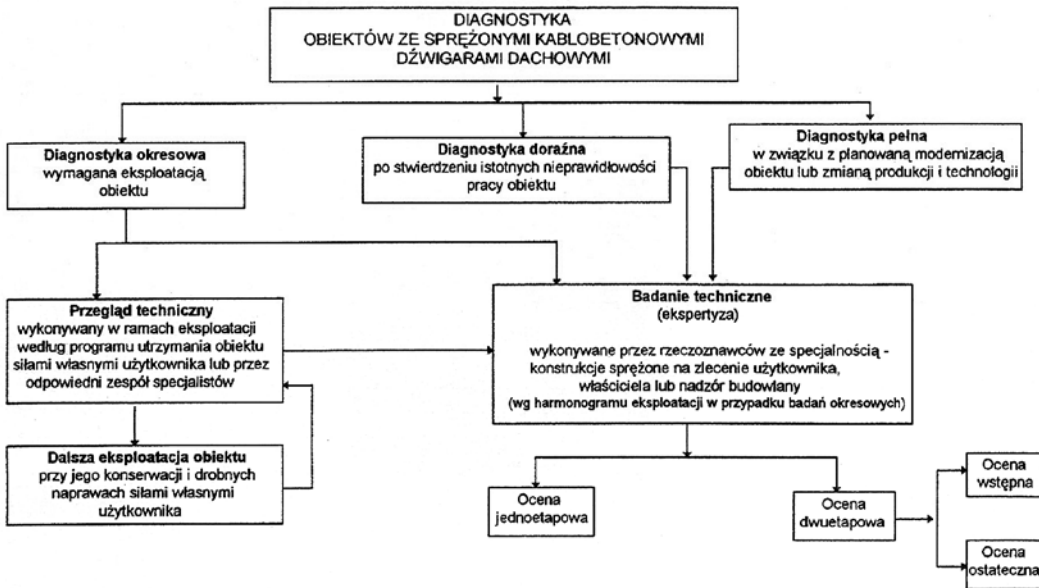
Stosowano też dachy typu szedowego, których konstrukcję stanowiły faliste dźwigary łupinowe jedno- i wieloprzęsłowe o długości do 78 m (sprężone kablami) oraz kratowe dźwigary kablodetonowe o rozpiętości do 30 m.

Niedostateczny ówczesny poziom wykonawstwa, usterki projektowe oraz niewłaściwa eksploatacja doprowadziły w latach 1963–72 do kilku awarii dźwigarów kablodetonowych, co spowodowało wstrzymanie produkcji tych elementów. Jednocześnie rozpoczęto akcję kontroli stanu technicznego dźwigarów wbudowanych w obiekty, stanowiących główne elementy nośne konstrukcji stropodachów.

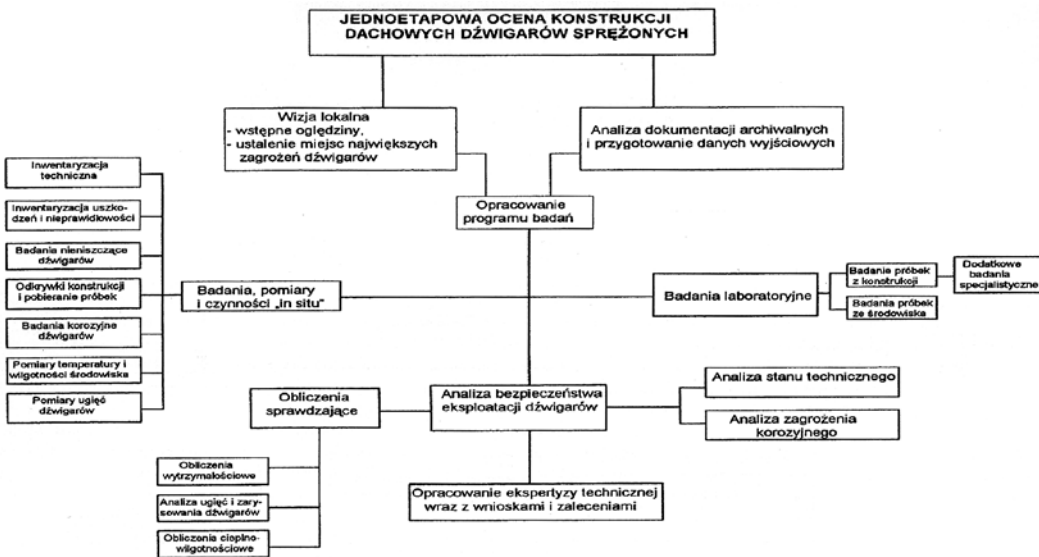
Obszerne badania eksploatowanych dźwigarów i oceny ich stanu technicznego oraz wieloletnie analizy konstrukcji budowlanych wykazały, że zasadnicze zagrożenie żelbetonowych dźwigarów



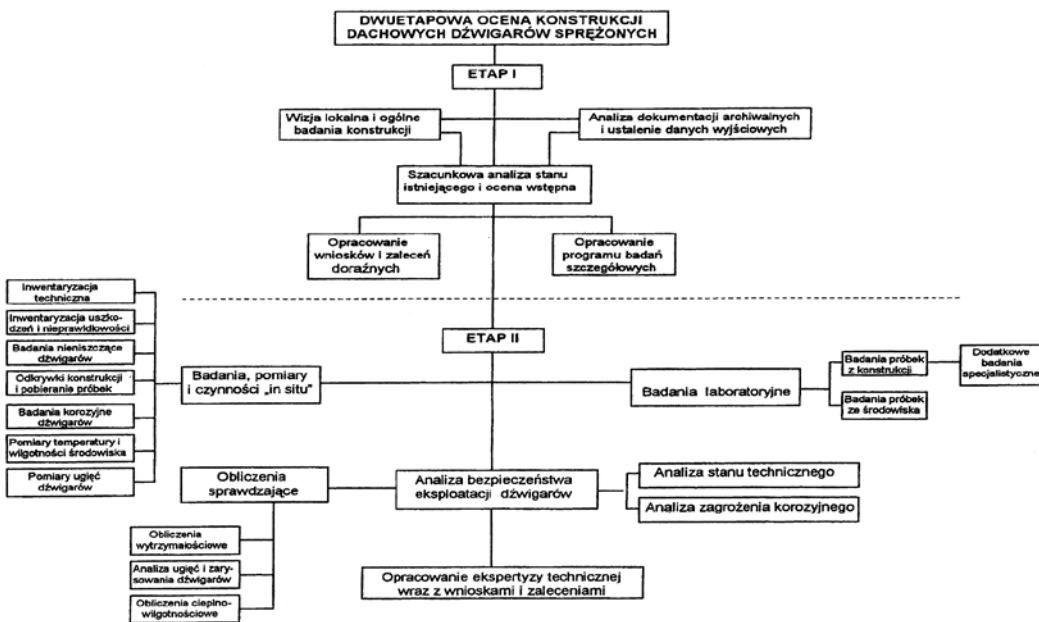
Fot. 1. Widok dźwigarów dachowych w hali



Rys. 1. System diagnostyki obiektów ze sprężonymi kablobetonowymi dźwigarami dachowymi



Rys. 2. Schemat jednoetapowej oceny stanu konstrukcji dachowych dźwigarów sprężonych



Rys. 3. Schemat dwuetapowej oceny stanu konstrukcji dachowych dźwigarów sprężonych

sprężonych stanowi korozja stali sprężającej, a także korozja stali zwykłej, niedostateczne podparcie na słupach lub ścianach, nierówności osiadania podłoża oraz zmiany wprowadzone w czasie eksploatacji w stosunku do założeń projektowych [3, 4].

Analizy występujących najczęściej zagrożeń bezpieczeństwa i niezawodności dźwigarów sprężonych pozwoliły na opracowanie optymalnych zasad diagnostyki i wzmacniania tych konstrukcji [1, 2].

2. Diagnostyka sprężonych betonowych dźwigarów

2.1. Zasady ogólne

Diagnostyka istniejących konstrukcji dachowych dźwigarów sprężonych może być przeprowadzana jednoetapowo lub dwuetapowo.

Rodzaje diagnostyki ze sprężonymi dźwigarami dachowymi podano na rysunku 1.

Jednoetapowa ocena zachowania się konstrukcji dźwigarów sprężonych dokonywana może być w oparciu o:

- dokumentację techniczną,
- badania na obiekcie,
- badania laboratoryjne,
- obliczenia cieplno-wilgotnościowe dachu,
- analizy stanu granicznego nośności i użyteczności.

Jednoetapowa diagnostyka powinna zawierać wnioski dotyczące bezpiecznej eksploatacji, z ewentualnym podaniem niezbędnych napraw lub wzmocnień dźwigarów, a także zasad ewentualnej modernizacji obiektu.

Schemat jednoetapowej oceny stanu konstrukcji dźwigarów sprężonych pokazano na rysunku 2.

Dwuetapowa ocena stanu konstrukcji dźwigarów sprężonych powinna obejmować:

- wstępną ocenę stanu i zachowania się konstrukcji oraz
- ostateczną ocenę stanu i zachowania się konstrukcji.

Schemat dwuetapowej oceny stanu konstrukcji dźwigarów sprężonych podano na rysunku 3.

2.2. Oceny wstępne

Oceny wstępne przeprowadza się w oparciu o:

- wizje lokalne oraz inwentaryzację i badania wstępne,
- wstępne analizy dokumentacji oraz warunków eksploatacji,
- szacunkową ocenę jakości materiałów,
- wstępne szacunkowe analizy stanu granicznego nośności i użyteczności.

Analizy stanu granicznego nośności można przeprowadzać dla całej konstrukcji i istotnych jej elementów, przy przyjęciu częściowych współczynników bezpieczeństwa o 10% większych od wartości normowych.

Ocena wstępna powinna zawierać wnioski i zalecenia w zakresie doraźnych warunków eksploatacji oraz program badań i analiz niezbędnych do oceny ostatecznej. Badania wstępne powinny obejmować następujące prace i zagadnienia:

• **Badania i analizy dokumentacji**

- dokumentacji projektowej i technologicznej,
- dokumentacji powykonawczej obiektu,
- metryki obiektu i wyników przeglądów okresowych,
- informacji uzyskanych od użytkownika i wykonawcy obiektu,
- orzeczeń i ekspertyz dotyczących obiektu.

• **Dane dotyczące konstrukcji dźwigarów**

- podstawowe projektowe dane geometryczne i materiałowe (wytrzymałości betonu i stali, rodzaj zabezpieczeń antykorozyjnych i inne),
- technologię wykonania (prefabrykacja monolityczna),
- dane dotyczące ugięć dźwigarów (jeżeli wykonywano pomiary).

Dane dotyczące konstrukcji dźwigarów należy opracować na podstawie:

- świadectw jakości elementów lub protokołów odbioru elementów na budowie,

- dzienników sprężania kabli, iniektowania kanałów kablowych,
- dokumentów (w postaci atestów) stwierdzających jakość użytych materiałów i półfabrykatów (kruszywo, cement, stal zwykła i sprężająca, zakotwienia itp.),
- dokumentów stwierdzających prawidłowość wykonania iniekcji. Następnie należy porównać dane projektowe z wykonawczymi, dokonując m.in. szacunkowej oceny jakości materiałów.

• **Warunki eksploatacji i agresywności środowiska**

Ocenę agresywności środowiska oddziaływującego na konstrukcję dźwigarów należy wykonać na podstawie danych projektowych, informacji uzyskanych od użytkowników oraz obserwacji i badań własnych.

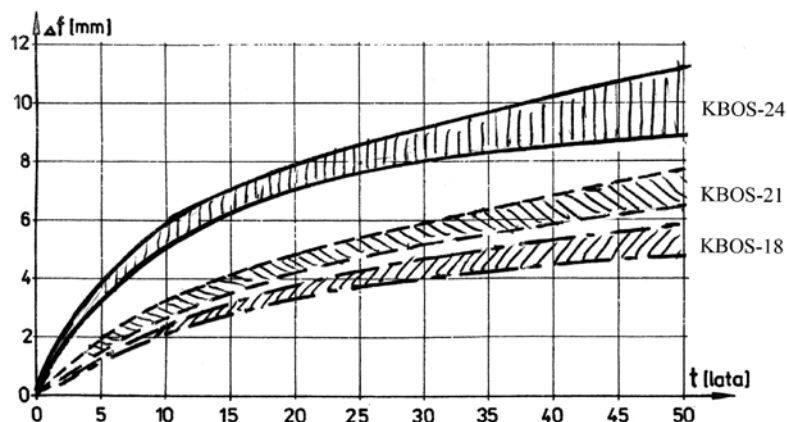
• **Ogólne oględziny obiektu**

- sprawdzenie stanu pokrycia dachowego i odprowadzenia wód opadowych z dachu,
- sprawdzenie stanu obróbek blacharskich,
- sprawdzenie stanu płyt dachowych i dźwigarów sprężonych (obecność wyługowanych soli, rys, pęknięć, raków, plam i odprysków korozyjnych, ugięć itp.),
- sprawdzenie stanu zakotwień kabli sprężających lub ich obetonowania,
- sprawdzenie stanu obetonowania kabli sprężających w dźwigarach z kanałami otwartymi oraz iniekcji w kanałach kablobetonowych.

• **Wstępną ogólną ocenę konstrukcji**

Na podstawie wyników oględzin należy dokonać wstępnej ogólnej oceny stanu konstrukcji dźwigarów sprężonych wraz z doraźnymi zaleceniami oraz należy określić zakres i program niezbędnych szczegółowych badań dźwigarów (do II etapu diagnostyki).

Jeśli podczas badań wstępnych zostaną stwierdzone występujące niebezpieczne okoliczności lub nieprawidłowości, to dźwigary te należy zakwalifikować do badań szczegółowych.



Rys. 4. Uzyskane z badań przyrosty ugięć dźwigarów dachowych

2.3. Szczegółowe oględziny dźwigarów sprężonych oraz inwentaryzacja uszkodzeń

Szczegółowych oględzin dźwigarów sprężonych należy dokonywać po oględzinach i wstępnej ogólnej ocenie stanu konstrukcji dźwigarów. Podczas tych oględzin należy sprawdzić stan wszystkich istotnych elementów dźwigarów, stan powierzchniowych zabezpieczeń (jeżeli zostały wykonane), występowanie uszkodzeń mechanicznych, rys, pęcherzy, złuszczeń itp.

2.4. Badania stopnia wypełnienia kanałów kablowych (zamkniętych)

Badania stopnia wypełnienia kanałów kablowych można przeprowadzić przez wykonanie odkrywek do kabli lub metodami nieniszczącymi. Opracowano kilka metod nieniszczących, dla których w trakcie badań uzyskano pozytywne rezultaty. Są to:

- metoda radiograficzna wykorzystująca źródła promieniowania jonizującego w przenośnych defektoskopach,
- metoda elektrotermiczno-termowizyjna pozwalająca na zlokalizowanie miejsc przenikania ciepła przez obserwację obrazu promieniowania podczerwonego,
- metoda emisji akustycznej wykorzystująca zjawisko emisji akustycznej w dźwigarach.

Ocena stopnia wypełnienia zamkniętych kanałów kablowych metodą odkrywek nie daje pełnej informacji o wypełnieniu kanału kablo-

wego wzdłuż długości dźwigarów. Wady te eliminują metody nieniszczące weryfikowane odkrywkami. Stosowanie metod nieniszczących do badań dźwigarów sprężonych powinno być zgodne z odpowiednimi Instrukcjami zatwierdzonymi przez ITB [5].

Odkrywki wykonuje się w miejscach:

- największej agresywności atmosfery (np. nad urządzeniami, z których wydobywają się agresywne gazy chemiczne itp.),
 - styków pomiędzy segmentami dźwigarów i zakotwień bloków kotwiących,
 - widocznych zawilgoceń i zacieków na powierzchni dźwigara,
 - uszkodzeń (ubytki, rysy, pęknięcia) betonu, elementu, ewentualnie zabezpieczeń powłokowych.
- W odkrywkach do kabli określa się:
- stan drutów sprężających i bloków kotwiących,
 - grubość i szczelność otuliny kabli sprężających i bloków kotwiących,
 - stopień zasadowości otuliny,
 - zawartość wilgoci, chlorków i siarczanów w otulinie.

Po zbadaniu stanu drutów sprężających i bloków kotwiących (zakotwień) ustala się stopień skorodowania powierzchni drutów i bloków kotwiących oraz aktywność procesów korozji.

2.5. Badania rozkładu i jakości zbrojenia

Badanie rozkładu zbrojenia w wybranych obszarach elementów

dźwigarów przeprowadza się metodą magnetyczną lub metodą radiograficzną.

Na tej podstawie określa się rozstaw prętów głównych konstrukcyjnych i strzemion oraz wyznacza się miejsca odkrywek, w celu bezpośredniego zbadania zbrojenia.

Metodą radiograficzną można ponadto określać kształt i średnice zastosowanych prętów zbrojenia. Tymi samymi metodami określa się też długość zakładów zbrojenia.

Wytrzymałość stali zbrojenia określa się metodą nieniszczącą lub na próbkach wyciętych z konstrukcji.

2.6. Badania geodezyjne ugięć dźwigarów

Prowadzenie systematycznych pomiarów ugięć dźwigarów, przy zastosowaniu niwelacji precyzyjnej, pozwala na ocenę poprawności zachowania się dźwigarów i może sygnalizować ewentualne zagrożenia awaryjne, spowodowane między innymi korozją kabli sprężających. Pomiary powinny obejmować wszystkie kontrolowane dźwigary.

Należy dążyć do wykonywania pomiarów ugięć w porównywalnych warunkach. Przy dokonywaniu pomiarów ugięć należy unikać okresów dużych zmian temperatury, a zawsze konieczne są jednoczesne precyzyjne pomiary temperatur, aby można było dokonać obliczeniowej analizy i wniesienia odpowiednich „poprawek” do wyników eliminujących wpływy termiczne.

Bezpieczne przyrosty ugięć nie powinny być większe od wartości podanych na rysunku 4.

2.7. Badania makroskopowe

Badania makroskopowe betonu należy realizować metodami wizualnymi oceniając wygląd powierzchni przełomu, porowatość, zastosowane kruszywo, jakość zagęszczenia, stopień zawilgoceń i jednorodność.

Badania makroskopowe zaczynają obejmować: określenie wyglądu, barwy, analizę linii przełomu i ocenę marki na podstawie próby odspojenia zaczynu.

2.8. Badania wytrzymałości i jednorodności betonu

Badania wytrzymałości betonu przeprowadza się najczęściej za pomocą nieniszczących metod sklerometrycznych i ultradźwiękowych.

Badania i ocenę wytrzymałości betonu dźwigarów metodą sklerometryczną przeprowadza się za pomocą młotka Schmidta typu N i metodą ultradźwiękową za pomocą betonoskopu ultradźwiękowego, zgodnie z odpowiednimi normami i instrukcjami.

Wybór dźwigarów do badań nieniszczących powinien być reprezentatywny dla danego obiektu.

Badania powinny obejmować od 5% (przy dobrej jednorodności) do 20% (przy jednorodności niedostatecznej) dźwigarów w danym obiekcie. Dopuszcza się badania innymi metodami nieniszczącymi, przy zapewnieniu dostatecznej dokładności i wiarygodności oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji.

2.9. Badania korozyjne

Badania korozyjne obejmują:

- **Określenie głębokości karbonatyzacji** betonu (zobojętnienia) za pomocą wskaźników barwnych,

- badania chemiczne.

Zakres badań chemicznych powinien obejmować:

- pomiary pH wyciągów wodnych z betonu lub zaczynu (oznaczenie alkaliczności),

- określenie zawartości chlorków i siarczanów w betonie i zaczynie iniekcyjnym.

Oprócz opisanych wyżej badań podstawowych, bardzo pomocne są badania korozyjne (wykonywane na próbkach pobranych z odkrywek):

- mikroskopowe i termochemiczne (analizy jakościowe i ilościowe betonu i zaczynu iniekcyjnego), które przeprowadza się w celu określenia struktury materiałów i jej zmian korozyjnych,

- elektrochemiczne, które przeprowadza się w celu oceny korozyjnej stali sprężającej, na podstawie

wielkości potencjału korozyjnego oraz przebiegu krzywej polaryzacji anodowej.

- **Ocenę zabezpieczeń antykorozyjnych i chemoodpornych**

Zabezpieczenia antykorozyjne i chemoodporne dźwigarów oraz ich elementów należy oceniać na podstawie badań:

- wytrzymałości mechanicznej,
- szczelności i odkształcalności,
- przyczepności do betonu dźwigara,

- nasiąkliwości,

- odporności na wpływy chemiczne i termiczne środowiska.

- **Ocenę stopnia zagrożenia korozyjnego kabli sprężających**

Na podstawie wyników badań dokonuje się analizy zagrożenia korozyjnego. W wyniku analizy zagrożenia korozyjnego określa się zalecenia dotyczące dalszego postępowania z obiektem.

2.10. Badania specjalne

Badania specjalne obejmują przede wszystkim badania właściwości fizycznych materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych.

Przed wszystkim przeprowadza się oznaczenie wilgotności materiałów konstrukcyjnych i izolacyjnych. Ponadto najczęściej przeprowadza się badania nasiąkliwości i ciężaru objętościowego betonu i zaczynu cementowego.

Badania powyższe można wykonywać bezpośrednio „in situ” metodami nieniszczącymi (np. metodą dielektryczną, ultradźwiękową, radiologiczną) lub na pobranych próbkach.

3. Analizy stanu technicznego

Analizy stanu technicznego powinny obejmować oceny cząstkowe dokonywane na podstawie wyników badań specjalistycznych.

Powinny one obejmować:

- analizy wyników badań materiałowych i specjalistycznych,

- analizy zgodności wykonania konstrukcji z projektem,

- analizy cieplno-wilgotnościowe dachu,

- analizy statyczno-wytrzymałościowe konstrukcji,

- oceny stanów granicznych nośności i użyteczności,

- oceny trwałości konstrukcji.

3.1. Ocena kompleksowa stanu granicznego nośności i użyteczności

Analizy i oceny stanu granicznego nośności i użyteczności należy przeprowadzać dla całej konstrukcji dźwigarów oraz istotnych elementów, z uwzględnieniem wyników badań „in situ” i badań w laboratoriach.

Schematy konstrukcji dźwigarów oraz schematy obciążeń do obliczeń statycznych powinny odpowiadać rzeczywistym warunkom pracy i stanu konstrukcji.

Analizy i oceny stanów granicznych przeprowadza się zgodnie z obowiązującymi metodami określonymi w aktualnych normach przedmiotowych lub innymi równoważnymi metodami uzasadnionymi naukowo dla ocenianych konstrukcji.

Przy ocenie stanów granicznych konstrukcji przyjmuje się aktualne częściowe współczynniki bezpieczeństwa. Niezawodność konstrukcji eksploatowanych powinna być zbliżona do niezawodności określonej teoretycznie.

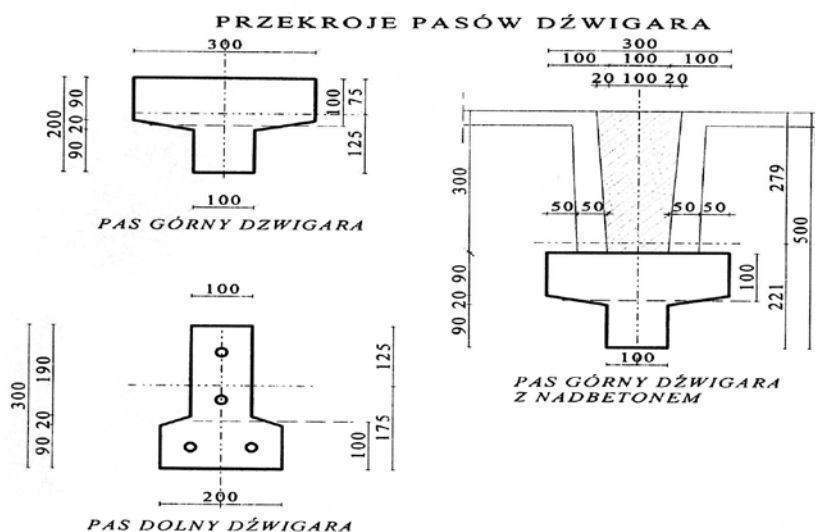
W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się przyjmowanie zmniejszonego o 10% globalnego współczynnika bezpieczeństwa.

Współczynnik globalny wynika z analizy normowych częściowych współczynników bezpieczeństwa dla materiałów konstrukcyjnych oraz obciążeń występujących w obiekcie.

4. Naprawy i zabezpieczenia

Naprawy i zabezpieczania dachowych dźwigarów sprężonych wykonuje się w stosunku do elementów wykazujących usterki, uszkodzenia i złe zabezpieczenia, ale spełniających normowe stany graniczne nośności i użyteczności.

Naprawy i zabezpieczania elementów dźwigarów należy wykonywać



Rys. 5. Charakterystyka geometryczna dźwigara KBOS-18

materiałami i technologiami zapewniającymi dobrą przyczepność, wytrzymałość i trwałość w określonych warunkach eksploatacji i posiadających odpowiednie aprobaty techniczne i atesty (informacje m.in. www.itb.pl). Wzmocnienia dźwigarów należy stosować w przypadku niespełnienia przez dźwigary normowych stanów granicznych nośności lub użyteczności. Wzmocnienie dźwigarów nie powinno zmieniać schematów statycznych pracy konstrukcji.

W przypadku zastosowania jednak sposobu wzmocnienia zmieniającego dotychczasowy schemat pracy konstrukcji dźwigara należy przeanalizować wszystkie wynikające z tego możliwe zagrożenia.

W zależności od rodzaju naprężeń panujących w poszczególnych elementach (ściskanie lub rozciąganie), wzmocnienie należy wykonywać za pomocą dodatkowych elementów stalowych lub żelbetowych.

Natomiast fragmenty rozciągane należy wzmocniać za pomocą dodatkowych ściągów stalowych. Elementy lub fragmenty ściskane dźwigarów można wzmocniać elementami stalowymi lub żelbetowymi.

Wzmocnienia żelbetowych dźwigarów sprężonych powinny być poprzedzone specjalnymi ekspertyzami uprawnionych ośrodków

oraz projektami wzmocnienia. Realizacje napraw i wzmocnień powinny być przeprowadzone ściśle według projektów technicznych, pod nadzorem autorskim.

5. Przykłady

Przykład 1.

Ocena stanów granicznych dźwigarów KBOS-18 o rozpiętości 18 m, w Hali Warsztatowej.

Jest to obiekt jednonawowy eksploatowany około 40 lat (przebudowany). W wyniku szerokich badań niszczących i nieniszczących oraz analiz określono:

- charakterystykę geometryczną dźwigarów,
- cechy wytrzymałościowe betonu i stali,
- korozję betonu i stali,
- stany graniczne nośności i użyteczności.

Charakterystykę geometryczną dźwigara podano na rysunku 5.

Wytrzymałość i jednorodność betonu w wybranych 4 dźwigarach (około 30%) odpowiadała klasie B37. Natomiast minimalna wytrzymałość betonu osłaniającego zakotwienia wynosiła około 4,0 MPa, przy bardzo zróżnicowanej jednorodności. Nie stwierdzono nadmiernej korozji drutów sprężających zarówno w zakotwieniach, jak i w odkrywkach na długości dźwigarów. Stwierdzono brak pełnego wypełnienia

iniektem kanałów kablowych.

W wyniku badań chemicznych stwierdzono praktycznie całkowite zabarwienie fenoloftaleiną, zarówno w zakotwieniach, jak i kanałach kablowych. Świadczy to o braku zubożenia obetonowania bloku kotwiącego i betonu dźwigara, dzięki czemu zapewniona jest w dalszym ciągu czynna ochrona cięgien sprężających.

W dokumentacji technicznej przebudowy (część konstrukcyjna) udostępnionej przez zamawiającego wyszczególniono jeszcze uszkodzenia dźwigarów zaobserwowane w początkach lat 70. typu: widoczne „raki” na powierzchni betonu, zarysowania i spękania betonu w pasach oraz lokalne ubytki. W czasie oględzin uszkodzeń tych nie potwierdzono, zostały one prawdopodobnie naprawione w trakcie przebudowy obiektu.

Pomiary geodezyjne ugięć dźwigarów wykonano metodą niwelacji technicznej, ze względu na brak reperów na dźwigarach. Ponieważ pomiary ugięć nie były wcześniej wykonywane, nie mają one punktu odniesienia, a jedynie charakter informacyjny dla bazy porównawczej. Na 10 pomierzonych dźwigarach dwa z nich posiadają odwrotny kierunek strzałek ugięcia (do góry), a pozostałe do dołu. Maksymalne przemieszczenie do dołu namierzone w dźwigarze wynosi: $a = 2,20$ cm. Zalecono, aby w trakcie prac remontowych zastabilizować repery do pomiaru ugięć dźwigarów i takie pomiary w przyszłości przeprowadzać (w tych samych określonych warunkach).

W związku z brakiem obliczeń statycznych w dokumentacji technicznej obiektu, przeprowadzono analizę na podstawie posiadanych materiałów i oględzin. Z porównania inwentaryzacji dźwigarów z danymi zawartymi w archiwalnej dokumentacji technicznej wynika, że zastosowano dźwigary kablobetonowe oznaczone symbolem KBOS-18 o wysokości strzałki $f = 140$ cm. Zgodnie z kartą katalogową KB-1.6.1. produkowane były dźwigary zbro-

jone stałą sprężającą gatunku II o $R_r = 15\,000$ at (1500 MPa).

Analizy statyczno-wytrzymałościowe dźwigarów przeprowadzono w oparciu o aktualne normy do projektowania konstrukcji sprężonych. Przyjęto następujące dane wyjściowe:

– beton klasy B 37 – na podstawie wyników nieniszczących badań betonu,

– stal sprężająca odmiany II – wytrzymałość charakterystyczna 1471 MPa,

– stal zwykła niesprężająca klasy A-III,

– strzemiona – stal klasy A-I.

Przyjęto następujące obciążenia:

– stałe od konstrukcji: ciężar własny dźwigara, nadbeton na dźwigarze, ciężar własny płyt dachowych panwiowych, nadbeton pomiędzy płytami panwiowymi, gładź wyrównawcza na płytach 1 cm,

– stałe od izolacji: paroizolacja, płyty styropianowe twarde klejone i mocowane kotwami, papa izolacyjna na płytach jw. oraz papa termozgrzewalna,

– zmienne: obciążenie śniegiem oraz obciążenie instalacją elektryczną i wentylatorami.

Analizy wyników obliczeń statycznych wykazały, że dźwigary kablobetonowe przenoszą wszystkie te obciążenia z niewielkimi zapasami. Nośności ich wynoszą dla:

– pasa dolnego:

$$N_n = 997,5 \text{ kN} > H_o = 722,80 \text{ kN},$$

– pasa górnego:

$$N_n = 1565,79 \text{ kN} > H_o = 722,80 \text{ kN}.$$

Naprężenia w stali po wszystkich stratach wynoszą: $\sigma_v = 842,90 \text{ MPa} < 0,65 R_{vk}(f_{yk}) = 955,5 \text{ MPa}$.

Ugięcia wynoszą: $a = 0,042 \text{ m} < a_{lim} = l_o / 400 = 17,705 / 400 = 0,04426 \text{ m}$.

Przyjmując wzrost globalnego obciążenia w stosunku do pierwotnych obliczeń i obciążeń rzędu 5% – z powodu zwiększonego obciążenia śniegiem (wg Zmiany Az1 do polskiej normy PN-80/B-02010 około 30%) i zmniejszonego obciążenia projektowanymi warstwami pokrycia szacuje się, że warunki nośności i maksymalnych dopusz-

czalnych naprężeń są spełnione. Porównanie obliczeń statycznych wg starej i nowej normy obciążeń śniegiem potwierdza również zachowanie stanów granicznych nośności i użyteczności (naprężenia, siły i ugięcia).

Powyższe wielkości wyliczono teoretycznie, ponieważ – jak już wspomniano – nie zachowała się dokumentacja techniczna dotycząca przedmiotowych dźwigarów – głównie brak danych o wielkości sił sprężających. Na podstawie oględzin i badań stwierdzono ogólnie dość dobry stan konstrukcji dźwigarów kablobetonowych. Występujące drobne uszkodzenia elementów nie stanowią o znaczącym osłabieniu – zalecono zabezpieczenie i naprawę. Również prefabrykaty płyt dachowych są w dość dobrym stanie technicznym, z wyjątkiem drobnych uszkodzeń, które zalecono naprawić.

W aspekcie dotychczasowej eksploatacji uznano stan dźwigarów za dostateczny. Konstrukcja nie wykazywała uszkodzeń, a występujące obszary zawilgocenia (bez objawów większego zawilgocenia konstrukcji) zalecono poddać naprawom zabezpieczającym.

Z uwagi na wykonany bezpośrednio po ekspertyzie remont i nowe pokrycie dachu oraz wprowadzenie nowych instalacji można przypuszczać, że stan pracy konstrukcji poprawił się.

Należy jednak zauważyć, że ocena stanu korozji kabli jest bardzo trudna, ponieważ dokonywana jest na podstawie losowo wybranych odkrywek, w związku z czym jej wyniki nie są w pełni miarodajne. We wnioskach stwierdzono ostatecznie, że:

- Istniejące dźwigary kablobetonowe przenoszą aktualnie występujące obciążenia z uwzględnieniem planowanego remontu.
- Stan techniczny dźwigarów kablobetonowych można uznać za dostateczny.
- Nie stwierdzono korozji drutów kabli na długości badanych

elementów; poza miejscami, gdzie wystąpiła niewielka korozja powierzchniowa w zakotwieniach górnych kabli dźwigarów.

- Badania chemiczne nie wykazały utraty właściwości ochronnych betonu ani zaczynu iniekcyjnego kanałów kablowych.

- Uszkodzenia wymienione w ekspertyzie oraz ewentualne dodatkowo zauważone w trakcie remontu należy naprawić.

- W trakcie eksploatacji należy monitorować konstrukcję oraz dokonywać kontroli i badań technicznych w odpowiednich okresach.

Podane zalecenia obejmują:

- Zabezpieczenie odkrytych w trakcie ekspertyzy zakotwień dźwigarów kablobetonowych, aby nie następowała dalsza ich korozja pod wpływem warunków atmosferycznych. Zakotwienia te, do czasu remontu, zalecono zabezpieczyć tynkiem cementowym z dodatkiem środka wodoszczelnego.

- Zabezpieczenie dźwigarów kablobetonowych w postaci docieplenia i nowego pokrycia dachu tak, aby mieć pewność, że nie nastąpią przecieki pokrycia dachowego stwarzające możliwość powstania korozji w miejscach zakotwień cięgien sprężających.

- Naprawę w trakcie planowanego remontu, zlikwidowanie śladów zacieków, oczyszczenie skorodowanego zbrojenia odsłoniętego w żebrach płyt dachowych, a następnie wykonanie zabezpieczenia oraz naprawy jedną z metod napraw konstrukcji żelbetowych, jakie oferują nowoczesne technologie w tym zakresie.

W trakcie remontu, przy usuwaniu gzymsów żelbetowych zakrywających dostępy do zakotwień kabli, zalecono odsłonięcie zakotwienia dźwigarów i sprawdzenie ich stanu. W przypadku stwierdzenia nawet powierzchniowej korozji zalecono, aby miejsca te dokładnie oczyścić i zabezpieczyć przez dokładne obetonowanie betonem wodoszczelnym.

Obszary te należy monitorować poprzez regularne przeglądy tech-



Rys. 6. Charakterystyka geometryczna dźwigara KBOS-24

niczne, w celu oceny postępów ewentualnej dalszej korozji. W przypadku dalszych zacieków lub objawów korozji należy wykonać odpowiednie naprawy, wzmocnienia lub wymiany elementów wg oddzielnie opracowanego projektu.

• Ponadto, co pół roku należy wykonywać pomiary ugięć dźwigarów przynajmniej przez najbliższe 3 lata. Pomiary należy wykonywać w okresach letnich i zimowych przy możliwie maksymalnej pokrywie śniegu oraz notować temperatury na zewnątrz i wewnątrz hali podczas pomiarów.

Klasę wrażliwości konstrukcji dźwigara na zagrożenie korozyjne wg [1, 2] przyjęto jako „A” – stypizowane dźwigary kablobetonowe w halach jednonawowych bez świetlików.

Kontrolę techniczną zabezpieczeń dźwigarów, w zależności od klasy wrażliwości i stopnia zagrożenia korozyjnego środowiska, ocenionego wg PN-88/B-01808, zalecono przeprowadzać co 2 lata dla stopnia agresywności I_a , co 12 m-cy dla m_a i co 9 m-cy dla h_a . Stopień agresywności środowiska w przedmiotowej hali powinny określać odpowiednie jednostki specjalistyczne, w zależności od charakteru eksploatacji.

Pełne badania techniczne dźwigarów, w związku z występują-

mi wcześniej zaciekami, zalecono przeprowadzać co 5 lat dla stopnia agresywności I_a , co 3 lata dla m_a i co 2 lata dla h_a .

Zakres kontroli i badań zawarty jest w instrukcjach ITB [1, 2].

Przy bardzo dużych opadach śniegu przekraczających grubość 80 cm (śniegu mokrego) lub przy zwiększeniu ugięcia pasa dolnego ponad 8,0 cm zalecono czasowe wyłączenie obiektu z eksploatacji.

Przykład 2.

Hala produkcyjna dwunawowa z dźwigarami KBOS-24 o rozpiętości 24 m w rozstawie co 6 m. Celem ekspertyzy była ocena możliwości dodatkowego obciążenia dźwigarów kablobetonowych instalacjami wentylacji i odpylania.

Charakterystykę geometryczną typowego dźwigara w przedmiotowej hali pokazano na rysunku 6.

Stan techniczny dźwigarów oceniono na podstawie badań wizualnych, nieniszczących i chemicznych. Do analiz przyjęto beton klasy B30. Nie stwierdzono nadmiernej korozji drutów sprężających. Ilość i jakość kabli określono na podstawie badań. Różnił się on od dźwigarów typowych. Maksymalna pomierzona strzałka ugięcia wynosiła 2,6 cm.

W związku z brakiem dokumentacji technicznej, przeprowadzo-

no wstępną analizę na podstawie zebranych materiałów i oględzin. Z porównania pomiarów inwentaryzacyjnych dźwigarów do danych zawartych w archiwalnej literaturze przedmiotu wynika, że zastosowano dźwigary kablobetonowe oznaczone symbolem KBOS-24/66 o wysokości strzałki $f = 187$ cm. Zgodnie z kartą katalogową KB-1.6.1. produkowane były dźwigary zbrojone stalą sprężającą gatunku II o $R_t = 15\ 000$ at (1500 MPa).

Analizy statyczno-wytrzymałościowe dźwigarów przeprowadzono w oparciu o aktualne normy do projektowania konstrukcji sprężonych.

Przyjęto następujące dane wyjściowe :

- beton klasy B 30 – na podstawie wyników nieniszczących badań betonu,
- stal sprężająca odmiany II – wytrzymałość charakterystyczna 1471 MPa,
- stal zwykła niesprężająca klasy A-III,
- strzemiona – stal klasy A-I.

Przyjęto następujące obciążenia:

- stałe: ciężar własny dźwigara, nadbeton na dźwigarze, ciężar własny płyt dachowych panwiowych, nadbeton pomiędzy płytami panwiowymi, gładź wyrównawcza na płytach, styropian, gładź wyrównawcza, pokrycie istniejące 5 x papa na lepiku, płyty styropianowe klejone i mocowane kotwami, papa izolacyjna na płytach jw., papa termozgrzewalna,
- zmienne: obciążenie śniegiem i obciążenie technologiczne podciśnieniem.

Wyniki obliczeń statycznych wykazały, że powyższe obciążenia, łącznie z wykonanym tuż przed ekspertyzą dociepleniem i pokryciem dachu, dźwigary kablobetonowe przenoszą z niewielkimi zapasami:

- nośność pasa dolnego: $N_n = 1187,5$ kN > $H_o = 1131,7$ kN,
- nośność pasa górnego: $N_n = 1314,82$ kN > $H_o = 1131,7$ kN,
- naprężenia w stali po wszystkich stratach:

- $\sigma_v = 798,66 \text{ MPa} < 0,55 R_{vk}(f_{pk}) = 809,1 \text{ MPa}$,
- ugięcia: $a = 0,04 \text{ m} < a_{dop} = l_o / 400 = 23,620 / 400 = 0,05905 \text{ m}$.

Na podstawie oględzin i badań stwierdzono ogólnie dobry stan konstrukcji dźwigarów kablobetonowych. Drobne uszkodzenia elementów zalecono zabezpieczyć i naprawić.

Również prefabrykaty płyt dachowych były w dobrym stanie technicznym z wyjątkiem niewielkich uszkodzeń, które należało naprawić.

Uznano, że stan dźwigarów jest dostateczny, ponieważ konstrukcja nie wykazywała uszkodzeń, a zawilgocenia były lokalne, bez objawów większego zawilgocenia konstrukcji. Zalecono wykonanie niewielkich napraw zabezpieczających.

Z uwagi na aktualnie trwający w trakcie ekspertyzy remont i wykonanie nowego pokrycia dachu oraz wprowadzenie nowych instalacji wentylacji i odpylania stwierdzono, że stan pracy konstrukcji poprawi się.

W związku z bardzo niewielkimi zapasami wyliczonej teoretycznej nośności dźwigarów uznano, że obciążenia na dźwigary nie mogą być zwiększone (z wyjątkiem podwieszenia instalacji elektrycznej oświetleniowej i ewentualnego podciśnienia).

We wnioskach stwierdzono ostatecznie, że:

- Istniejące dźwigary kablobetonowe przenoszą bezpiecznie występujące obciążenia.
- Dopuszczono dodatkowe obciążenie dźwigarów kablobetonowych tylko instalacją elektryczną oświetleniową i ewentualnym podciśnieniem o wielkości do 20 Pa.
- W przypadku podjęcia decyzji o konieczności podwieszenia dodatkowych instalacji technologicznych wystąpi potrzeba zwiększenia nośności dźwigarów kablobetonowych przez ich wzmocnienie na podstawie odrębnie opracowanego projektu. Stwierdzono, że wzmocnienie dźwigarów

kablobetonowych jest przedsięwzięciem specjalistycznym i trudnym w realizacji.

- W związku z trwającymi (w czasie ekspertyzy) pracami remontowymi stwierdzono, że część robót mających na celu zabezpieczenie dźwigarów kablobetonowych została już wykonana w postaci docieplenia i nowego pokrycia dachu. Prace te wykonano jakościowo dobrze dając gwarancję, że nie nastąpią przecieki pokrycia dachowego.

- Uszkodzenia elementów zalecono naprawić w trakcie trwającego remontu, tj.: zlikwidować ślady zacieków, oczyścić dokładnie skorodowane zbrojenie odstonięte w żebrach płyt dachowych oraz na połączeniu słupka i pasa dolnego dźwigara, a następnie wykonać zabezpieczenie oraz naprawę jedną z metod napraw konstrukcji żelbetowych, jakie oferują nowoczesne technologie w tym zakresie.

- Obiekt należy monitorować w celu oceny postępów ewentualnej dalszej korozji.

- W przypadku dalszych zacieków lub objawów korozji należy wykonać odpowiednie naprawy, wzmocnienia lub wymiany elementów wg oddzielnego opracowania projektowego.

- Klasę wrażliwości konstrukcji dźwigara na zagrożenie korozyjne przyjęto jako „B” – stypizowane dźwigary kablobetonowe w halach jednonawowych ze świetlikami.

- Zalecono przeprowadzanie kontroli technicznej dźwigarów, w zależności od klasy wrażliwości i stopnia zagrożenia korozyjnego środowiska ocenionego wg PN-88/B-01808. Zalecono je przeprowadzać co 1,5 roku dla stopnia agresywności I_a , co 9 m-cy dla m_a i co 0,5 roku dla h_a . Natomiast pełne badania techniczne dźwigarów zalecono przeprowadzać co 5 lat dla stopnia agresywności I_a , co 3 lata dla m_a i co 2 lata dla h_a .

Zakres kontroli i badań zawarty jest w instrukcjach ITB [1, 2] i publikacjach [3, 4].

6. Podsumowanie

Oceny stanów technicznych konstrukcji dźwigarów sprężonych są bardzo trudne. Zachodzą słuszne obawy, że z uwagi na ograniczony wiek dźwigarów – w większości przypadków mają one po około 40 lat – sposób ujawnienia niezdolności ich do dalszej pracy może w niektórych przypadkach okazać się nagły i gwałtowny, bez wyraźnego widocznego uprzedzenia.

Największa trudność w ocenie stanu technicznego dźwigarów sprężonych polega na braku realnych możliwości sprawdzenia i kontroli prawidłowości wykonania wszystkich niewralgicznych miejsc, gdyż są one „ukryte” i nie sygnalizują nieprawidłowości wykonawczych (wad, usterek). W tym stanie ocena bezpieczeństwa konstrukcji zależy wyłącznie od sumienności poszczególnych wykonawców, jak i ekspertów oceniających stan techniczny obiektu.

Szczególnie istotnym czynnikiem w ocenie stanu dźwigarów sprężonych betonowych jest wpływ zagrożenia korozyjnego konstrukcji, które jest uzależnione przede wszystkim od stanu kabli sprężających decydujących razem z betonem o nośności ustroju.

Oceny takie wymagają dużej znajomości przedmiotu (rzeczoznawstwo) z zastosowaniem wiarygodnych metod oceny jakości i zagrożenia korozyjnego konstrukcji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Runkiewicz L., Szymański J., Badania i ocena kablobetonowych dźwigarów dachowych. Instrukcja ITB nr 354/98, W-wa
- [2] Runkiewicz L., Szymański J., Eksploatacja i konserwacja kablobetonowych dźwigarów dachowych w obiektach budowlanych. Instrukcja ITB nr 353/98, W-wa
- [3] Materiały z konferencji „Awaryje budowlane”, Szczecin 1980–2007
- [4] Materiały z sympozjum „Trwałość i niezawodność żelbetowych sprężonych dźwigarów dachowych. Wyd. ITB i PW, Płock, 1994
- [5] Przedmiotowe aktualne normy i instrukcje