

dr inż. Marzena Kurpińska^{1*)}
mgr inż. Rafał Ziółkowski²⁾

Zastosowanie elementów sprężonych do budowy hal przemysłowych o dużej rozpiętości

Rozwój automatyzacji i robotyzacji oraz technologii betonu umożliwiają uzyskiwanie elementów o coraz większej wytrzymałości i lepszej jakości. Postęp w prefabrykacji betonowej sprawia, że nie ma materiału, który mógłby zastąpić beton w przypadku takich obiektów jak hale przemysłowe. Ponadto, w porównaniu z wieloma innymi materiałami budowlanymi jest produktem niskoemisyjnym. Należy podkreślić, że beton nadaje się do recyklingu i ponownego użycia, dlatego badania naukowe prowadzone w ostatnich latach skierowane są na wykorzystanie kruszyw pochodzących z recyklingu, np. elementów budowlanych pochodzących z rozbiórki. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wykorzystania surowców pochodzących z recyklingu w produkcji elementów prefabrykowanych. Warto dodać, że projektując budynki, coraz częściej bierze się pod uwagę możliwość zmiany jego funkcji w przyszłości lub rozbiórkę obiektu i ponowne wykorzystanie gotowych elementów. W tym przypadku dobrze się sprawdzają prefabrykowane elementy strunobetonowe. Tego typu elementy były stosowane już w latach pięćdziesiątych XX w. i w wielu przypadkach dźwigary sprężone nadal są użytkowane i będą eksploatowane przez kolejne lata. Umożliwia to stosowanie innowacyjnych materiałów do ochrony i wzmacniania konstrukcji.

Dachowe dźwigary strunobetonowe stosowane w nowoczesnym budownictwie przemysłowym pozwalają na projektowanie obiektów wielkopowierzchniowych, w tym hal przemysłowych o bardzo dużej rozpiętości przy jednoczesnym zmniejszeniu liczby podpór.

Daje to nieograniczone możliwości aranżacji przestrzeni. Ponadto zastosowanie nowych rozwiązań technologicznych umożliwia optymalizację przekroju elementu i dzięki temu konstrukcja staje się coraz lżejsza, wytrzymałość coraz większa, a także konkurencyjna cenowo w porównaniu z tradycyjnymi elementami stalowymi lub żelbetowymi [1].

Prefabrykację elementów strunobetonowych wyróżnia:

- automatyzacja produkcji;
- niskie koszty produkcji dzięki powtarzalności;
- szybkie tempo wytwarzania elementów;
- produkcja niezależna od pogody;
- bardzo dobra jakość elementów;
- stały nadzór nad produkcją;
- łatwość montażu elementów na budowie;
- niewielka powierzchnia składowisk materiałów budowlanych (montaż elementów może odbywać się z samochodu);
- oszczędność lub eliminacja kosztów rusztowań i podpór;
- krótki czas montażu;
- niewielka emisja hałasu i niskie ryzyko wypadków na budowie.

Dźwigar strunobetonowy

Dźwigary sprężone zawsze produkowane są na potrzeby konkretnej inwestycji. Na podstawie dokumentacji projektowej oblicza się optymalne dla inwestora parametry elementów konstrukcji. Parametry dźwigarów, belek dachowych i słupów dobiera się pod względem technicznym i ekonomicznym. Najczęściej spotykane są trzy rodzaje dźwigarów strunobetonowych:

■ **dwuteowe dźwigary strunobetonowe o stałej wysokości**, stosowane w przypadku dużych obciążeń, przeważnie do budowy dachów płaskich i bezpłaskich o dużej rozpiętości oraz jako belki stropów o dużej rozpiętości i obciążeniu;

■ **dwuteowe dźwigary strunobetonowe o zmiennej wysokości**, stosowane do dachów płaskich o dużej rozpiętości;

■ **dźwigary strunobetonowe o zmiennej wysokości i przekroju prostokątnym**, stosowane przeważnie do dachów bezpłaskich o małej i średniej rozpiętości.

Zdecydowaną zaletą dźwigarów strunobetonowych jest duża odporność na wpływy środowiska. Zarówno Polska Norma, jak i EC2 standardowy okres użytkowania projektowanej konstrukcji określają na 50 lat. Zwiększenie grubości otuliny zbrojenia powoduje, że okres ten można wydłużyć dwukrotnie [2]. Konstrukcje stalowe mogą osiągać podobny okres użytkowania, jednak należy uwzględnić konieczność konserwacji i wymiany powłok malarskich, które w zależności od systemu i warunków środowiska mogą mieć trwałość 5, 10 lub 15 lat. W tym przypadku trzeba przeanalizować koszty konstrukcji i konserwacji w przewidywanym czasie eksploatacji. Ważną cechą elementów strunobetonowych jest ich duża odporność ogniowa, z reguły R120. Modyfikacja



Montaż dźwigara na słupie

¹⁾ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Ładowej i Środowiska

²⁾ GOLDBECK Comfort Sp. z o.o.

*) Adres do korespondencji: marzena.kurpinska@pg.edu.pl

konstrukcji, np. przez zwiększenie grubości otuliny zbrojenia, może umożliwić uzyskanie odporności ogniowej R240. W przypadku dźwigarów strunobetonowych bardzo dużą zaletą jest możliwość redukcji wysokości konstrukcji. Sprężony dźwigar betonowy ma znacznie mniejszą wysokość niż stalowy dźwigar kratownicowy o tej samej nośności. Dzięki zastosowaniu niższych elementów konstrukcyjnych można ograniczyć wysokość obiektu przy zachowaniu zakładanej wysokości użytkowej lub w innym przypadku zyskać dodatkową wysokość użytkową, co jest szczególnie istotne i pożądane w obiektach magazynowych [3].

Firma GOLDBECK Comfort, jeden z producentów elementów strunobetonowych, posiada nowoczesne linie technologiczne do produkcji m.in. belek, dźwigarów dachowych, belek mostowych typu T i płyt TT. Duże doświadczenie załogi GOLDBECK Comfort pozwala na realizację wielu projektów na polskim i niemieckim rynku budowlanym. W przypadku ostatniej realizacji wyprodukowano dźwigar dachowy o długości 40 m, a okazało się, że największym wyzwaniem w tym przypadku nie była produkcja, lecz transport elementu na budowę.

Sprężanie betonowego elementu

Ze względu na postęp technologiczny w większości zakładów prefabrykacji można uzyskiwać beton klasy C50/60 i przyjmując, że dźwigar strunobetonowy nie powinien być wykonywany z betonu niższej klasy. Stosowana stal sprężająca to zazwyczaj sploty Y1860, głównie o średnicy 12,5; 15,2 i 15,7 mm. Dzięki procesowi sprężenia prefabrykat uzyskuje większą nośność w porównaniu z elementem żelbetowym, co pozwala na większą rozpiętość, stosowanie większego obciążenia lub zmniejszenie objętości prefabrykatu przez optymalizację przekroju.

Stal zbrojeniowa (której znaczną część wagową stanowią strzemiona) charakteryzuje się granicą plastyczności 500 MPa. Oprócz zbrojenia w elementy wbudowy-

wane są różne marki, akcesoria systemowe lub do indywidualnego stosowania służące do łatwego mocowania pokrycia bądź umożliwiające bezinwazyjne mocowanie różnych instalacji. Dźwigary mają haki transportowe oraz otwory kształtowane za pomocą stalowych rur o cienkich ściankach przeznaczone do osadzenia dźwigarów na wytykach wystających z głowicy słupów. Przekazanie obciążeń z dźwigara na podporę następuje zazwyczaj za pomocą elastomerowych podkładów lub zapraw o dużej wytrzymałości.

Schemat statyczny i obliczenia

Przyjmowany schemat statyczny pracy dźwigara to jednoprzęsłowa belka swobodnie podparta, tym samym oparcie na słupie powinno odzwierciedlać klasyczny przegub. Realizuje się to przez zastosowanie dwóch wytyków z głowicy słupa (wytyki zlokalizowane w jednej linii prostopadłej do rozpiętości dźwigara) i elastomerową podkładkę. Optymalizacja przekroju wiąże się z koniecznością rozważenia niestateczności poprzecznej. PN-EN 1992-1-2:2008 określa zmianę geometryczną jako wygięcie poziome o wartości $l/300$. W tym samym punkcie podano warunki, przy których można pominąć efekty drugiego rzędu związane z niestatecznością poprzeczną. Jest to odpowiednio:

– w sytuacji trwałej:

$$l_{ot}/b \leq 50/(h/b)^{1/3} \text{ i } h/b \leq 2,5 \quad (1)$$

– w sytuacji tymczasowej:

$$l_{ot}/b \leq 70/(h/b)^{1/3} \text{ i } h/b \leq 3,5 \quad (1)$$

gdzie:

l_{ot} – odległość między usztywnieniami na skręcanie; h – wysokość przekroju; b – szerokość półki ściskanej.

Dobór przekroju elementu musi się wiązać ze sprawdzeniem wymagań stawianych przez PN-EN 1992-1-2:2008 ze względu na warunki pożarowe.

Aspekty wykonawcze

Powszechnie przyjmuje się, że elementy strunobetonowe nie ulegają zarysowaniu. Przekonanie to jest o tyle

błędne, że struny układane są jednokierunkowo, czasami jedynie w dolnej części elementu. Tym samym sprężenie przeciwdziała siłom wynikającym ze zginania elementu prętowego. Wszelkie inne oddziaływania, powodujące rozciąganie betonu, muszą być przeniesione przez stal zbrojeniową, co powoduje, że ta część elementu działa zgodnie z klasyczną teorią żelbetu – przeniesieniu siły towarzyszy rozciąganie stali, a po przekroczeniu nośności betonu następuje zarysowanie. Ze względów technologicznych w tych elementach nie stosuje się strun górnych, tym samym podczas transportu i montażu dochodzi do powstania momentów ujemnych, zwiększonych przez efekt sprężenia. W okolicy haka, a także naroży otworów w środku i na czołach elementów belkowych mogą powstać rysy. Część zarysowań (np. zarysowania górnej półki) ulega zamknięciu podczas trwałej pracy elementu [1, 4].

Podsumowanie

Współczesne rozwiązania prefabrykowanych stropów bardzo często bazują na technologii strunobetonu, która oprócz możliwości znacznego zwiększenia rozpiętości elementów, skutkuje również poprawą trwałości i estetyki konstrukcji. Elementy strunobetonowe, np. dźwigary, to nie tylko smukłe elementy konstrukcji dachu, przenoszące stosunkowo niewielkie obciążenia, ale również masywne elementy głównej konstrukcji stropu o znacznej rozpiętości i siłach przekrojowych.

Literatura

- [1] Ajdukiewicz A, Mames J. Konstrukcje z betonu sprężonego, Polski Cement, Kraków 2004.
- [2] Runkiewicz L, Sieczkowski J. Research and assessment of reinforced concrete roof tensile girders in exploited facilities. Przegląd Bud. Building Rev. 2018; 89: 41–46.
- [3] Godycki Ćwirko T, Wesołowski M. Nośność na ścinanie belek żelbetowych osłabionych otworami; XLV Konferencja Naukowa PAN i PZiTb, Krynica 1999.
- [4] Runkiewicz L. Technical Condition Assessment of a Post-Tensioned Reinforced Concrete Girders. BuildingResearchInstitute; Warsaw, Poland: 2018.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl



ROK ZAŁOŻENIA 1994