

50 lat minęło, czyli aktualny stan podwieszanej na linach konstrukcji przekrycia katowickiego spodka

50 years have passed, current state, studies and safety assesment of hanging roof above the main sport and entertainment hall in Katowice

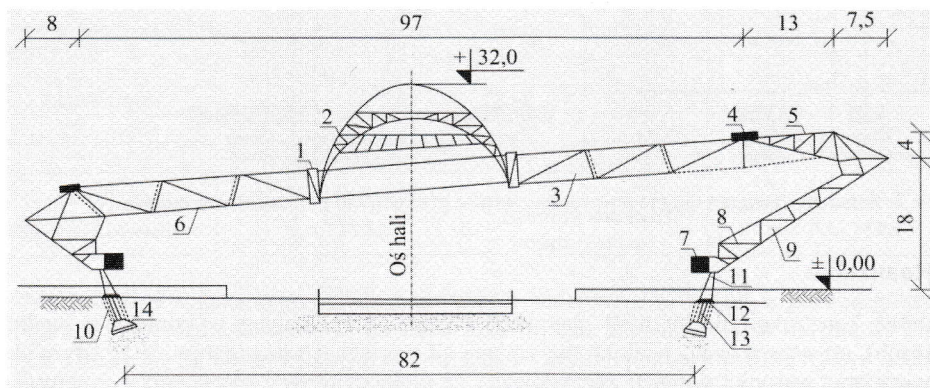
Rafał Szydłowski^{1,1}, Barbara Łabuzek²

^{1,2} Politechnika Krakowska, Warszawska 24, 31-155 Kraków

^{1,2} TCE Structural Design & Consulting, Domikanów 14, 31-409 Kraków

1 Wstęp

W 1959 roku rozpisano konkurs na projekt zespołu budynków Wojewódzkiej Hali Widowiskowo-Sportowej w Katowicach. Budowę obiektu rozpoczęto w 1964 roku i trwała ona pięć lat. Uroczyste otwarcie hali odbyło się 8 maja 1971 roku, a ze względu na innowacyjność projektu konstrukcji, poprzedzone było próbą obciążenia.



Rys. 1. Schemat konstrukcji Hali Widowiskowo-Sportowej Spodek, 1 – stalowy pierścień wewnętrzny, 2 – kopuła, 3 – kondygnacja techniczna, 4 – stalowy pierścień zewnętrzny, 5 – kratowe słupy wspornikowe, 6 – dźwigar liniowo-prętowy, 7 – sprężony wieniec fundamentowy, 8 – żelbetowe pierścienie obudowy, 9 – żebra stalowe, 10 – obudowa wahaczy, 11 – słupy krzyżakowe, 12 – pierścień pośredni, 13 – słupy wahaczowe, 14 – stopy fundamentowe [1]

Zmiana początkowo planowanej lokalizacji projektowanej hali znacząco wpłynęła na sam jej projekt. Napotkane trudności w zakresie posadowienia przyczyniły się do ewolucji projektu i ostatecznie zrealizowano jego czwartą koncepcję. Schemat zrealizowanej konstrukcji pokazano na rysunku 1, a dokładny przebieg etapów projektowych opisano w pracy [1]. W finalnej wersji projektu konstrukcję o kształcie spodka oparto na sprężonym

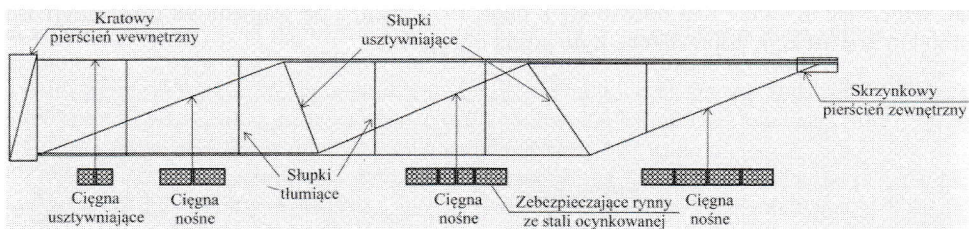
¹ Autor do korespondencji: rszydowski@pk.edu.pl

pierścieniu fundamentowym (poz. 7), który wsparto na pochylonych słupach składających się z dwóch części: górnych słupów krzyżakowych (poz. 11) i dolnych wahaczy (poz. 13), które w poziomie terenu połączone są pierścieniem pośrednim (poz. 12).

2 Konstrukcja dachu wiszącego

Konstrukcję przekrycia stanowi stalowa kopuła o średnicy 32 m i wysokości 16 m. Zasadnicze elementy konstrukcji dachu – dźwigary ciągnowo-prętowe rozpięto promieniście pomiędzy wewnętrznym pierścieniem usztywniającym (poz. 1), a pierścieniem zewnętrznym (poz. 4) o przekroju skrzynkowym, opartym na kratowych wspornikach obudowy (poz. 5).

Dźwigar ciągnowo-prętowy o rozpiętości 36,0 m (rys. 2) zaprojektowano w formie płaskiej stalowej kratownicy, w której pas dolny i górny oraz krzyżulce wykonane są z cięgien, natomiast geometria elementu zapewniona jest przez dwa stalowe słupki główne oraz słupki tłumiące. Dźwigar tworzy 10 cięgien nośnych i 2 cięgna usztywniające, o łącznej liczbie 118 drutów $\phi 5$ mm. Schemat dźwigara wraz z oznaczeniem funkcji cięgien i ich przekrojów pokazano na rysunku 2. Cięgna nośne uformowano z 18 drutów $\phi 5$ mm, natomiast usztywniające z 9 drutów $\phi 5$ mm. W każdym dźwigarze zainstalowano 20 zakotwień biernych i 20 zakotwień czynnych, które odpowiednio montowane są w pierścieniu kopuły oraz w stalowym zewnętrznym pierścieniu skrzynkowym. Zakotwienia czynne tak zaprojektowano, by umożliwiały wstępny naciąg oraz pomiar i regulację siły w linach w poszczególnych fazach montażu przekrycia hali.



Rys. 2. Schemat dźwigara ciągnowo-prętowy wraz z przekrojami poprzecznymi cięgien [2]

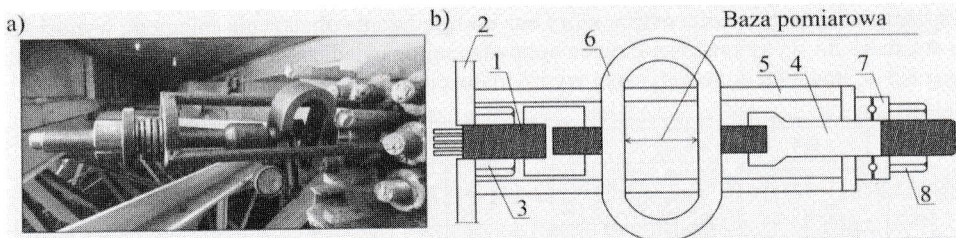
3 Realizacja

Montaż konstrukcji dachu miał charakter wieloetapowy (naciąg wykonano w siedmiu etapach), co wywoływało wielokrotną zmianę sił w cięgnach dźwigarów. Względy wykonawcze oraz warunki montażu zdecydowały, że podpory rurowe pierścienia zewnętrznego zdemontowano po wykonaniu 99 dźwigarów. Miało to istotny wpływ na wartości sił w zamontowanych już dźwigarach. Konieczne było wykonanie pomiaru przyrostów sił, aby móc wprowadzić korektę sił w później montowanych dźwigarach.

4 Okresowe badania sił w linach nośnych

Bloki kotwiące ośmiu dźwigarów nie zostały obetonowane i zostały zabezpieczone antykorozyjnie w sposób umożliwiający kontrolę sił w linach nośnych. Kontrolnego pomiaru sił dokonano w latach 1978, 1985, 1990, 2006 oraz w 2019 roku. Pomiar siły w zakotwieniach czynnych dźwigarów każdorazowo wykonano za pomocą zestawu, który skonstruowano i wykorzystano do regulacji sił w trakcie wznoszenia obiektu (rys. 4).

Pomiar siły polega na odciąganiu nakrętki kotwiącej (3) aż do jej swobodnego obrotu, poprzez śrubę naciągową (4) z nakrętką (8). Między śrubą naciągową (4) a śrubą kotwiącą (1) zainstalowany jest siłomierz pierścieniowy (6).



Rys. 4. Widok (a) oraz budowa (b) zestawu do pomiaru siły wciągach: 1 – śruba kotwiąca, 2 – blacha oporowa, 3 – nakrętka kotwiąca, 4 – śruba naciągowa, 5 – stolik oporowy, 6 – siłomierz pierścieniowy, 7 – łożysko ślizgowe, 8 – nakrętka napinająca.

W tabelicy 1 przedstawiono wyniki pomiarów sił wciągach nośnych w jednym z pięciu dźwigarów pomierzonych w 2019 roku. Wartości sił w poszczególnych wiązkach 9φ5 mm wynoszą od 28,0 do 48,4 kN. Średnia wartość siły w wiązce wynosi 40,1 kN średnie naprężenia w stali sprężającej 226 MPa, a wartość całkowitej siły wciągach, wyznaczona jako średnia siła w wiązce pomnożona przez liczbę wiązek wynosi 721 kN.

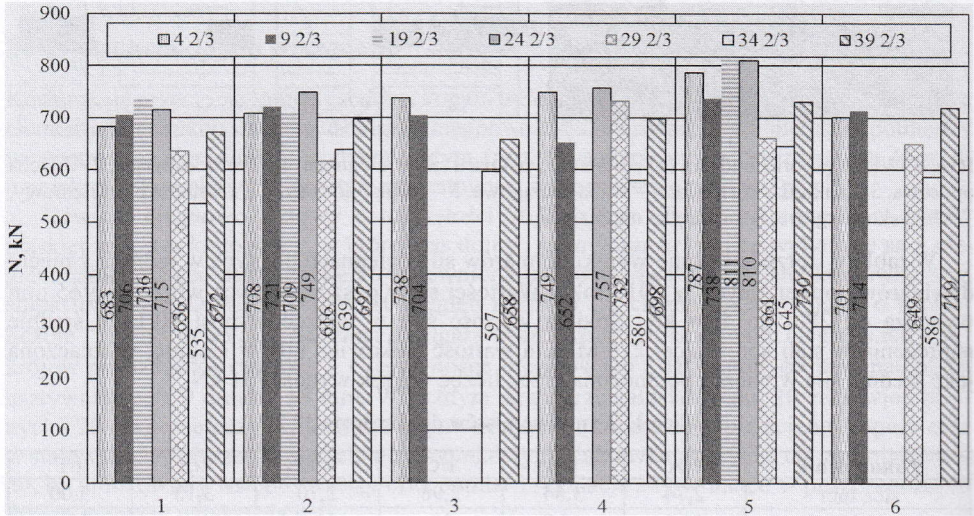
Tabela 1. Wyniki pomiarów dla dźwigara 39 2/3

Zakotwienie	1/A	1/B	1/C	1/D	1/E	1/F
ΔL_i , mm	2,74	3,54	2,96	2,70	3,13	3,00
N_i , kN	36,1	46,7	39	35,6	41,3	39,6
σ_i , MPa	204	264	220	201	233	224
Zakotwienie	2/A	2/B	2/C	2/D	2/E	2/F
ΔL_i , mm	3,31	2,66	2,87	2,98	3,03	3,40
N_i , kN	43,6	35,1	37,8	39,3	40,0	44,8
σ_i , MPa	246	198	214	222	226	253
Zakotwienie	3/A	3/B	3/C	3/D	3/E	3/F
ΔL_i , mm	3,52	3,67	2,81	2,80	2,12	3,42
N_i , kN	46,4	48,4	37,1	36,9	28,0	45,1
σ_i , MPa	262	273	210	208	158	255
Siła w zakotwieniu:	N = 721 kN		Średnia wartość naprężenia:		$\sigma = 226$ MPa	

Na rysunku 5 pokazano graficznie zmianę sił w badanych dźwigarach w poszczególnych pomiarach prowadzonych od 1971 do 2019 roku. Można zauważyć, że w okresie do 2006 roku średnia wartość siły systematycznie wzrastała. Ostatnie pomiary w 2019 roku wykazały jednak znaczący spadek średniej siły w stosunku do poprzednio zarejestrowanych. Obserwowany wzrost sił łatwo wytłumaczyć zwiększającym się systematycznie obciążeniem dachu, wywołanym ciągłym wzrostem wyposażenia montowanego na stropie technicznym. W okresie pomiędzy 2006 a 2019 rokiem przeprowadzono natomiast gruntowny remont dachu, wymieniając ówczesne pokrycie z płyt azbestowo-cementowych na lżejsze płyty warstwowe. Zabieg ten spowodował odciążenie dachu i spadek średniej siły w mierzonychciągach nośnych.

Analizując otrzymane z pomiarów wartości sił wciągach dźwigara 39 2/3 (dźwigar o największych aktualnie pomierzonych naprężeniach w stali) stwierdzono, że wartość średnia naprężeń w stali wynosi 226 MPa, a maksymalne zarejestrowane naprężenie 273 MPa. Źródła nie podają wytrzymałości stali, lecz powszechnie stosowana do sprężania konstrukcji stal miała wówczas wytrzymałość maksymalną równą 1470 MPa. Przed w montowaniem w konstrukcję, każda wiązka została natomiast napięta do naprężeń 950 MPa, które utrzymywano przez 10 minut. Biorąc pod uwagę pomierzone aktualnie wartości naprężeń można stwierdzić, iż w chwili obecnej konstrukcja dachu pracuje z dużym

współczynnikiem bezpieczeństwa, który bez uwzględnienia obciążenia śniegiem, wynosi 4,2 w stosunku do wytrzymałości cięgien sprawdzonej doświadczalnie przed montażem dachu oraz 6,5 w stosunku do teoretycznej wytrzymałości stali na zerwanie.



Rys. 5. Zmiana sił w badanych dźwigarach w latach 1971, 1977, 1985, 1990, 2006 i 2019 (1 do 6)

5 Podsumowanie

Przeprowadzone od 1971 do 2019 roku pomiary wykazały, iż po prawie 50 latach eksploatacji w pełni spełnione są założenia projektowe dotyczące wyężenia głównych cięgien nośnych dźwigarów dachowych. Pozytywnym czynnikiem był remont dachu wykonany pod koniec ubiegłej dekady, który spowodował odciążenie dźwigarów. W chwili prowadzenia ostatnich pomiarów w okresie styczeń–luty 2019 roku, mierzone dźwigary pracowały ze współczynnikiem bezpieczeństwa równym 4,2 w stosunku do wytrzymałości cięgien sprawdzonej doświadczalnie przed montażem dachu oraz 6,5 w stosunku do teoretycznej wytrzymałości stali na zerwanie.

References

1. Gaszewski Z., Żórawski A.: Montaż stalowej kopuły dachowej o średnicy 32 m, *Inżynieria i Budownictwo*, 11/1970, 413–417.
2. Detko W., Dyduch K., Libura S.: Zagadnienia technologiczne przy realizacji dachu wiszącego nad halą główną WHWS w Katowicach, *Inżynieria i Budownictwo*, 7/1972, 239–244.