

Aspekty techniczno-organizacyjne modernizacji Stadionu Śląskiego

Mgr inż. Jerzy Kowalewski
Emeryt

Modernizacja Stadionu Śląskiego trwa już blisko 20 lat i dzisiaj jest uznawana za synonim nieudanego przedsięwzięcia budowlanego. Awaria budowlana na Stadionie Śląskim, jaka miała miejsce 15 lipca 2011 r., ma poważne konsekwencje techniczne, ekonomiczne i społeczne. Do czasu przygotowania tego tekstu (marzec 2013 r.) nie są prowadzone żadne roboty budowlane przy konstrukcji zadaszenia Stadionu Śląskiego oraz nie podjęto decyzji, czy i jak będą one kontynuowane.

O awarii „krokodyli” oraz o stanie technicznym konstrukcji zadaszenia Stadionu Śląskiego traktują trzy poważne ekspertyzy techniczne (Politechnika Śląska, Instytut Techniki Budowlanej oraz Politechnika Gdańska), kilka artykułów w prasie technicznej, a także niezliczona liczba enuncjacji medialnych.

OGÓLNY OPIS PRZEDSIĘWZIĘCIA

Stadion Śląski zlokalizowany jest w Chorzowie. Inwestorem modernizacji obiektu jest Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego. Przewidziany do realizacji projekt zadaszenia Saturn 2005 został w 2007 r. odrzucony na podstawie ekspertyzy przygotowanej w ciągu 2 tygodni przez Politechnikę Krakowską. W 2012 r. Politechnika Krakowska została zobowiązana prawomocnym wyrokiem Sądu Okręgowego w Krakowie do przeproszenia projektanta konstrukcji zadaszenia Saturn 2005 następującymi słowami: „Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki w Krakowie przeprasza Zakład Projektowania i Wdrożeń TB Spółkę z ograniczoną odpowiedzialnością z siedzibą w Katowicach w likwidacji za wydaną w październiku 2007 r. opinię, albowiem nie było podstaw do stwierdzenia, iż opiniowany projekt posiada braki i błędy, które mogłyby doprowadzić do katastrofy budowlanej, gdyby był on zrealizowany.” [1]

Przebudowa Stadionu Śląskiego budziła (i budzi nadal) rozliczne emocje i spory. Jedni uważali, że należy zachować zasadniczy kształt stadionu i modernizować go, inni twierdzili, że należy wyburzyć przestarzałą technologicznie bryłę i wybudować nową. Byli zwolennicy obiektu wielofunkcyjnego (piłkarski, lekkoatletyczny, żużlowy), inni z kolei uważali, że ma to być obiekt typowo piłkarski.

Po odrzuceniu projektu Saturn 2005 zlecono opracowanie nowego projektu modernizacji Stadionu Śląskiego przez niemieckie biura projektowe GMP (architektura) oraz SBP (konstrukcja zadaszenia). Projekt budowlany powstał w ciągu 8 miesięcy (od kwietnia do grudnia 2008 r.), a projekt wykonawczy był gotowy po trzech dodatkowych miesiącach (w marcu 2009 r.). Oficjalnie prace budowlane rozpoczęto w październiku 2009 r., a oddanie stadionu do użytku przewidziano w połowie 2011 r.

Wykonawcą modernizacji Stadionu Śląskiego (w tym konstrukcji zadaszenia) jest konsorcjum firm Hochtief, Mostostal Zabrze i Thermoserr.

W trakcie realizacji uzupełniono i zwiększono zakres modernizacji Stadionu Śląskiego (m.in. o funkcje lekkoatletyczne).

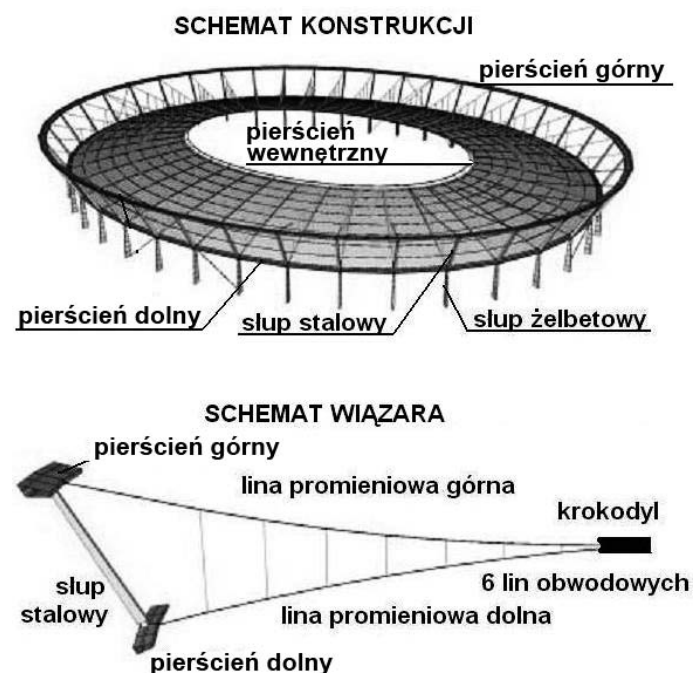
W dniu 28 czerwca 2011 r. inwestor zrezygnował z nadzoru autorskiego niemieckich biur projektowych [7] i zawarł umowę z polską firmą „na wykonanie zastępcze w zakresie usuwania wad i braków w dokumentacji oraz sprawowania nadzoru autorskiego dla inwestycji” [8].

Dnia 15 lipca 2011 r. nastąpiła awaria dwóch elementów mocowania lin zwanych potocznie „krokodylami”. Awaria stworzyła dramatyczną sytuację dla wszystkich uczestników budowy zadaszenia Stadionu Śląskiego. Już następnego dnia, czyli 16 lipca 2011 r., podjęto decyzję o wymianie wszystkich stalowych „krokodyli” na elementy konstrukcyjne innego rodzaju. Uznano też, że wystarczy wymienić jedynie „krokodyle”, aby zapewnić bezpieczeństwo przyszłym użytkownikom Stadionu Śląskiego.

Dalej nastąpił okres opracowywania kolejnych ekspertyz, zapowiedzi podjęcia działań, przewidywania coraz większych kosztów, wskazywania bardziej odległych terminów zakończenia budowy oraz brak rzeczywistych decyzji, co do dalszej modernizacji Stadionu Śląskiego.

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA OBIEKTU

Konstrukcja zadaszenia Stadionu Śląskiego (rys. 1) składa się ze stalowej konstrukcji sztywnej (górny pierścień ściskany, dolny pierścień ściskany, słupy) oraz olinowania (wewnętrzny pierścień rozciągany składający się z 6 lin oraz 40 wiązarów złożonych z promieniowych lin górnych oraz lin dolnych).



Rys. 1. Schemat konstrukcji zadaszenia

Tworzące konstrukcję sztywną pierścienie górny i dolny oraz słupy zaprojektowano jako elementy spawane o przekrojach czworobocznych. Elementy te są niezwykle złożone i skomplikowane. Chciałoby się powiedzieć, że złożoność i precyzja zegarka szwajcarskiego jest niczym w porównaniu z konstrukcją sztywną zadaszenia Stadionu Śląskiego. Pierścienie zaprojektowano w sposób niezwykle wyrafinowany. W celu spełnienia wymagań architektonicznych elementy pierścieni zewnętrznych ukształtowano w formie wycinków łuków. Z uwagi na fakt, że w modelu obliczeniowym kształt pierścieni był aproksymowany odcinkami prostymi (przenoszenie dużych sił ściskających), elementy konstrukcyjne pierścieni tak ukształtowano, aby środki ciężkości przekrojów poprzecznych leżały na linii prostej. Uzyskano to, projektując górny i dolny element pierścienia jako spawane przekroje skrzynkowe z blach o grubości zmiennej zarówno w kierunku podłużnym, jak i poprzecznym.

Liny tworzące więzary dachowe (górne – nośne i dolne – napinające) z jednej strony mocowane są do ściskanych pierścieni, górnego i dolnego, a z drugiej strony połączone są z 6 linami, tworzącymi wewnętrzny pierścień rozciągany. Zarówno liny nośne, jak i napinające połączone są z linami obwodowymi (pierścienie rozciągane) za pomocą specjalnych elementów mocowania lin zwanych potocznie „krokodylami” (rys. 2). „Krokodyle” zaprojektowano i wykonano jako odlewy stalowe.

W docelowym stanie użytkowym w linach występują siły rozciągające, co powoduje, że całe olinowanie stabilnie znajduje się na określonej wysokości. W elementach konstrukcji sztywnej (pierścienie górny i dolny oraz słupy) występują siły ściskające.

Wstępnie konstrukcję olinowania montuje się jako leżącą w nieszkie stadionu. Następnie jest ona podnoszona (operacja *Big Lift*) w ten sposób, że z poziomu pierścienia górnego „wybiera się” specjalnie dodane liny przedłużające górne liny promieniowe. Po uzyskaniu odpowiedniej wysokości dokonuje się trwałego połączenia lin promieniowych z pierścieniami oraz wykonuje się sprzężenie całej konstrukcji linowej.

Najbardziej charakterystyczną cechą konstrukcji zadaszenia Stadionu Śląskiego jest fakt, że jest to konstrukcja sprzężona.

Poziom zgromadzonej energii sprężystej w niewielkim stopniu zależy od poziomu obciążeń użytkowych.



Rys. 2. Element mocowania lin, czyli tzw. „krokodyl”

W konstrukcji zadaszenia wytyżenie (stopień wykorzystania nośności) w zasadniczych elementach konstrukcji szacunkowo wynosi od:

- sprzężenia 70% ,
- ciężaru własnego 15%,
- obciążenia użytkowego (np. oświetlenie) 5% ,
- śniegu 5%,
- wiatru 5%.

Konstrukcja zadaszenia Stadionu Śląskiego jest niezwykle podatna na wszelkiego rodzaju niedokładności i odstępstwa od idealnego modelu. Duża wrażliwość konstrukcji na imperfekcje wynika z tego, m.in., że konstrukcja ma małą wyniosłość i dużą rozpiętość oraz występują duże siły sprzężające. W sensie matematycznym oznacza to bardzo złe uwarunkowania układów równań, które wykorzystywane są w obliczeniach statycznych.

Pominięcie imperfekcji w analizie konstrukcji zadaszenia Stadionu Śląskiego skutkuje znacznymi niedoszacowaniami wartości sił wewnętrznych, jakie mogą występować w rzeczywistości w poszczególnych elementach konstrukcji.

W projekcie niemieckiego biura projektowego SBP postawiono bardzo restrykcyjne wymagania w stosunku do wykonywanej konstrukcji. Można mieć wątpliwości, czy projektowe wymagania w zakresie tolerancji i jakości wykonania są do spełnienia w praktyce.

OPIS AWARII

Awaria konstrukcji zadaszenia nastąpiła 15 lipca 2011 r. Świadkowie informowali o dwóch potężnych wstrząsach i huku [5]. Natychmiast z terenu stadionu ewakuowano wszystkich pracowników, a także hotel stadionowy.

Awaria polegała na pęknięciu 2 „krokodyli” (rys. 3) w osiach 38 i 37. Konstrukcja olinowania była już podniesiona, ale nie były jeszcze wykonane wszystkie połączenia między linami promieniowymi i pierścieniami. Nie rozpoczęto jeszcze właściwej fazy sprzężania konstrukcji za pomocą dolnych lin promieniowych.

Szacuje się, że w trakcie awarii naprężenia w linach wynosiły około połowy sprzężenia czyli około 1/3 maksymalnych naprężeń docelowych.

Szczegółowy przebieg awarii nie był przeanalizowany i określony przez ekspertów.

Prawdopodobnie, najpierw nastąpiło pęknięcie jednego „krokodyla” (pierwszy wstrząs i huk), a następnie w wyniku wyzwolonej energii sprężystej wystąpiły dodatkowe obciążenia dynamiczne, jakie doprowadziły do pęknięcia następnego „krokodyla” (drugi wstrząs i huk). Ponieważ stopień obciążenia i sprzężenia konstrukcji stanowił jedynie około połowy wartości docelowych, to nie nastąpiły uszkodzenia kolejnych elementów i nie wystąpił efekt katastrofy postępującej.

PRZYCZYNY AWARII

Elementy mocowania lin, czyli tzw. krokodyle zostały zaprojektowane jako duże odlewane elementy stalowe (masa sięga blisko 3 tys. kg) o wysokich parametrach wytrzymałości-

wych (granica plastyczności 580 MPa). Wytworzenie takich elementów jest trudne technicznie i technologiczne. Analiza dokumentów z kontroli wyrobu w trakcie produkcji wskazuje na uchybienia formalne, a także na niezgodności z wymaganiami. Wyniki badań materiałów „krokodyli” po awarii wskazywały również, że nie spełniają one określonych przez projektanta wysokich wymagań w zakresie granicy plastyczności, wytrzymałości i udarności. Przełom pokazany na rys. 3 wskazuje na zróżnicowane uziarnienie, co świadczy o zróżnicowanych właściwościach oraz możliwości ukrytych wad.

W zgodnej opinii ekspertów wady materiałowe „krokodyli” były jedną z istotnych przyczyn powstania awarii.

Po awarii wykonano dodatkowe szczegółowe analizy i obliczenia naprężeń występujących w „krokodylach”. Wyniki wskazują, że przy docelowych obciążeniach w niektórych miejscach krokodyla może występować naprężenie (rzędu 800 MPa), czyli znacznie przekraczające wskazaną projektem granicę plastyczności materiału (580 MPa). Ten fakt nie jest jednak uznawany za zasadniczą przyczynę awarii, ponieważ nastąpiła ona przy znacznie mniejszych obciążeniach (połowa docelowych).

Na przełomie „krokodyla” (rys. 3) widoczna jest wyraźna srebrna plama. Budziła ona zainteresowanie i spekulacje. Najczęściej pochodzenie srebrnej plamy tłumaczono na dwa sposoby. Po pierwsze, w stalowym „krokodylu” było pęknięcie i w trakcie cynkowania ocynk dostał się do szczeliny i zabarwił powierzchnię pęknięcia. Oznaczałoby to, że „krokodyl” był od początku poważnie uszkodzony, a jego wytrzymałość na rozciąganie istotnie obniżona, m.in. ze względu na występującą koncentrację naprężenia na końcu szczeliny.

Druga wersja: plama powstała w trakcie awarii. Oznaczałoby to, że element konstrukcyjny nie miał uszkodzenia.

Problem pochodzenia srebrnej plamy nie został rozstrzygnięty przez ekspertów [2].

W obliczeniach projektowych nie uwzględniono imperfekcji, jakie mogą występować w rzeczywistej konstrukcji. Przy dodatkowych naprężeniach, jakie mogą powstać w „krokodylu”, istotne znaczenie ma usytuowanie w stosunku do „krokodyla” lin wewnętrznego pierścienia rozciąganego. Można wykazać, że przy zachowaniu wysokich wymagań, co do dokładności mon-

tażu, jakie postawił projektant, różnice w długości lin między „krokodylami” mogą generować dodatkowe naprężenie w „krokodylu” rzędu 200 MPa. Takie dodatkowe naprężenie stanowi 1/3 wartości granicy plastyczności materiału (580 MPa).

Kilkuprocentowe dodatkowe naprężenie powodowane może być odchyleniem „krokodyla” od poziomego położenia. Również kilkuprocentowe naprężenie może powstać w „krokodylu” ze względu na koszykowy kształt rzutu pierścieni ściskanych.

Dodatkowe naprężenie może powstać w „krokodylu” w efekcie różnicy długości nominalnych i rzeczywistych lin promieniowych. Ten efekt nie był analizowany przez ekspertów.

Trudności z właściwym jakościowo wykonaniem krokodyli jako elementów odlewanych powoduje poszukiwanie rozwiązań innego rodzaju [3].

Badania i analizy wykonane po awarii wskazują, że nieprawidłowości dotyczą również innych niż „krokodyle” elementów konstrukcji zadaszenia Stadionu Śląskiego [4]. W efekcie budowa zadaszenia została wstrzymana przez Powiatowego Inspektora Nadzoru Budowlanego [6].

WNIOSKI

Awaria na Stadionie Śląskim w dniu 15 lipca 2011 r. polegała na pęknięciu dwóch „krokodyli”. Awaria nastąpiła przy obciążeniach stanowiących około 1/3 wartości obciążeń docelowych.

Przeprowadzone po awarii badania i analizy wskazują, że także w stosunku do innych elementów zadaszenia Stadionu Śląskiego występują zastrzeżenia, co do spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa konstrukcji.

Awaria na Stadionie Śląskim okazała się w swoich skutkach o wiele poważniejsza, niż początkowo przypuszczano.

Szybko przebiegało odrzucenie projektu zadaszenia Saturn 2005 (ekspertyza dyskwalifikująca przygotowana w ciągu 2 tygodni) i przygotowanie projektu modernizacji Stadionu Śląskiego (projekt budowlany 8 miesięcy). Powoli przebiega ocena aktualnego stanu technicznego konstrukcji, ustalenie technicznego sposobu naprawy konstrukcji oraz podjęcie wiążących decyzji, co dalej z modernizacją Stadionu Śląskiego; w ciągu blisko 2 lat od awarii nie rozstrzygnięto ostatecznie tych kwestii.

Budowa zadaszenia Stadionu Śląskiego związana jest niestety z wielką liczbą błędów i niespełnionych deklaracji. W tej sytuacji przydomek obiektu – „Kocioł Czarownicy” – zamiast, tak jak kiedyś, działać odstrasza, na przeciwników polskich drużyn, coraz bardziej kojarzy się z niekończącymi się kłopotami inwestycji.

LITERATURA

1. Informator Śląskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa 1 (37) marzec 2013 str. 58, <http://slk.piib.org.pl/pliki/informator/InformatorSOIIB01-2013.pdf>.
2. Kowalewski J.: (Nie)rzetelność ekspertów, *Builder* 10/2012.
3. Kowalewski J.: Pomysł na nowe krokodyle, *Sport Plus* 7/2012.
4. Kowalewski J.: (Nie)bezpieczne konstrukcje linowe 1,5 czy 3,0, *Builder* 6/2012.



Rys. 3. Przełom elementu mocowania lin, czyli tzw. „krokodyla”

5. „Krokodyle” nie wytrzymały. <http://www.tvp.pl/katowice/aktualnosci/rozmaitosci/krokodyle-nie-wytrzymały/4897902>.

6. Stadion Śląski nie będzie miał dachu? Prace wstrzymane. http://wyborcza.pl/1,126565,13278621,Stadion_Slaski_nie_będzie_miał_dachu__Prace_wstrzymane.html.

7. Uchwała zarządu nr 1749/58/IV/2011, http://www.slaskie.pl/strona_n.php?jezyk=pl&grupa=24&id_menu=36&id=48224.

8. Uchwała zarządu nr 1751/58/IV/2011, http://www.slaskie.pl/strona_n.php?jezyk=pl&grupa=24&id_menu=36&id=48226.