

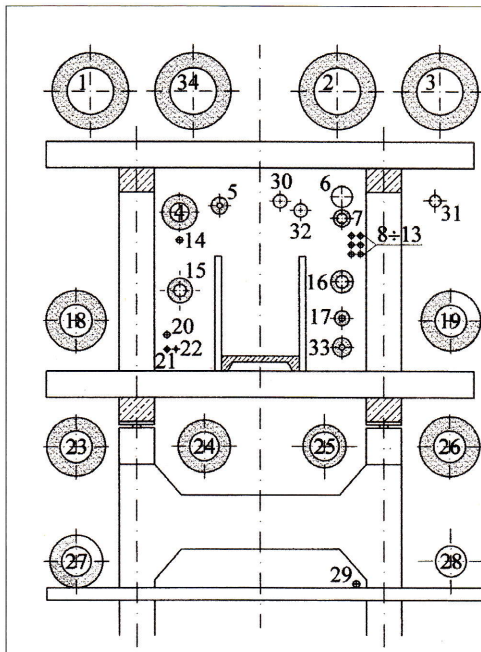
Awaria i wzmocnienie sprężonej konstrukcji nośnej estakady

Prezentowana awaria dotyczy pasa dolnego kratownic sprężonych o rozpiętości 28,5 m, obciążonych rurociągami wypełnionymi mediami. Po prowizorycznym, tymczasowym podparciu kratownic estakady wykonano badania przyczyn ich awarii, a następnie projekt wzmocnienia załamanego sprężonego przęsła poprzez zmianę jego schematu statycznego na trójprzęsłową kratownicę żelbetową o rozpiętości ok. 8 m.

Projektowane w Polsce w latach 50. ubiegłego stulecia kablobetonowe dźwigary dachowe czy kratownice sprężone zyskały praktyczne zastosowanie w budujących się obiektach gospodarki narodowej. Wymagania projektowe w stosunku do konstrukcji tradycyjnych zostały zapewnione zarówno w aspekcie analizy obliczeniowej zjawisk reologicznych, jak i stanów granicznych konstrukcji. Zdarzały się niestety przypadki niespełnienia wymagań wykonawczych, a szczególności prawidłowych zabezpieczeń antykorozyjnych oraz nieprawidłowości w eksploatacji kratownic. Przedstawiona zostanie analiza awarii sprężonych kratownic, stanowiących konstrukcję nośną przęsła estakady zbudowanej w latach 1956–1957 w dużych zakładach chemicznych.

Opis konstrukcji estakady sprężonej

Estakada składała się z 13 przęseł o rozpiętościach w osiach podpór 24, 20 i 16 m (rys. 1). Stanowią ją żelbetowe kratownice złożone z prefabrykowa-

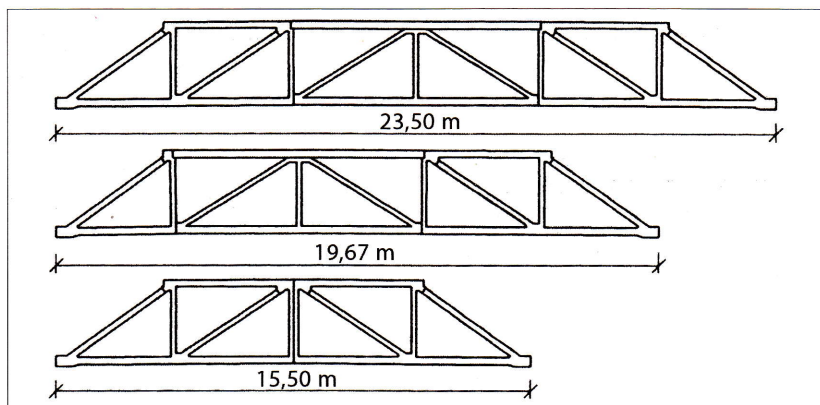


Rurociąg	Obciążenie [kN/m]
1,2,3	3×4,83
4	1,46
5	0,23
6	1,34
7	0,23
8÷13	6×0,16
14	0,19
15,16	2×0,60
17	0,23
18,19	2×2,86
20	0,19
21	0,16
22	0,15
23	2,86
24	2,45
25	2,32
26	2,86
27	2,51
28	2,16
29	0,19
30,31,32	3×0,33
33	0,24
34	4,23

Rys. 2 | Schemat obciążenia estakady rurociągami pasów górnych kratownic wykonano przy użyciu blach stalowych. Kablobetonowe dźwigary kratowe opierają się na podporach słupowych.

nych elementów o modułowej długości ok. 4,0 m, sprężne po montażu w pasie dolnym kablami typu Freyssineta 12Ø5. Wysokość kratownic liczona w osiach pasów wynosi ok. 2,5 m. Styki pasów dolnych kratownic sprężonych zostały

dodatkowo zespawane za pomocą stalowych blach opasujących pas dolny. Każde przęsło estakady stanowią dwie bliźniacze, sprężone kratownice ułożone w rozstawie 2,45 m, połączone dodatkowo w górnych i dolnych węzłach żelbetowymi poprzecznymi. Elementy te stanowią poprzeczne stężenie kratownic oraz są elementami nośnymi dla rurociągów technologicznych, które spoczywają na nich lub są do nich podwieszane (rys. 2). Dodatkowo na dolnych poprzecznikach w przestrzeni pomiędzy kratownicami spoczywa pomost technologiczny wykonany z płyt żelbetowych. Uciąglenie pasów górnych kratownic wykonano przy użyciu blach stalowych. Kablobetonowe dźwigary opierają się na podporach słupowych.



Rys. 1 | Schematy kratownic o rozpiętościach w osiach podpór $A_1 = 24$ m, $A_2 = 20$ m, $A_3 = 16$ m

Analiza szczątkowej dokumentacji wykonawczej estakady wykazała, iż kratownice montowane były z zachowaniem ujemnej strzałki ugięcia wynoszącej 60 mm.

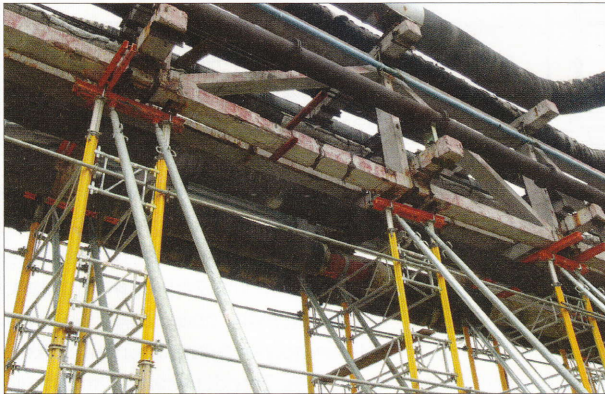
Awaria i uszkodzenia załamanej przęsła estakady

W trakcie pracy zakładów wystąpiła niespodziewanie awaria jednego przęsła

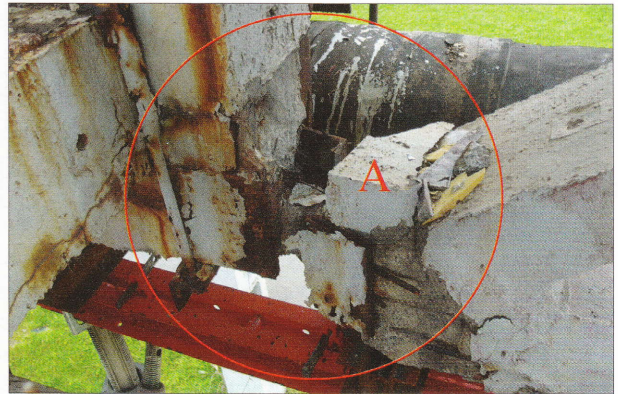
kratownic o rozpiętości 23,5 m, co w konsekwencji mogło doprowadzić do unieruchomienia zakładów. W trybie natychmiastowym obydwie załamane kratownice w awaryjnym przęśle zostały podparte za pomocą systemu stalowych podpór tymczasowych (fot. 1).

Badania wykazały, że przyczyną załamania przęsła estakady była duża korozja zarówno zakotwień kabli,

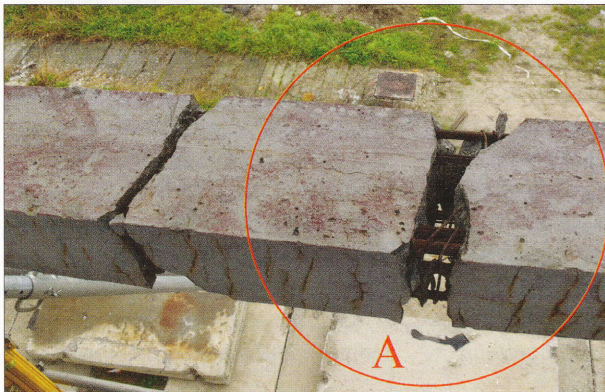
jak i samych drutów sprężających. Wystąpiło zerwanie skorodowanych kabli sprężających w pasie dolnym kratownicy „a” (fot. 2 i 3). Równocześnie w sąsiedniej kratownicy „b” awaryjnego przęsła doszło do ścięcia pasa dolnego w kratownicy (fot. 4 i 5). Ponadto w złamanym przęśle stwierdzono liczne uszkodzenia korozyjne słupków, krzyżulców i poprzecznic (fot. 6).



Fot. 1 | Tymczasowe podparcie uszkodzonych kratownic



Fot. 4 | Widok ściętego pasa dolnego



Fot. 2 | Widok fragmentu przerwanego



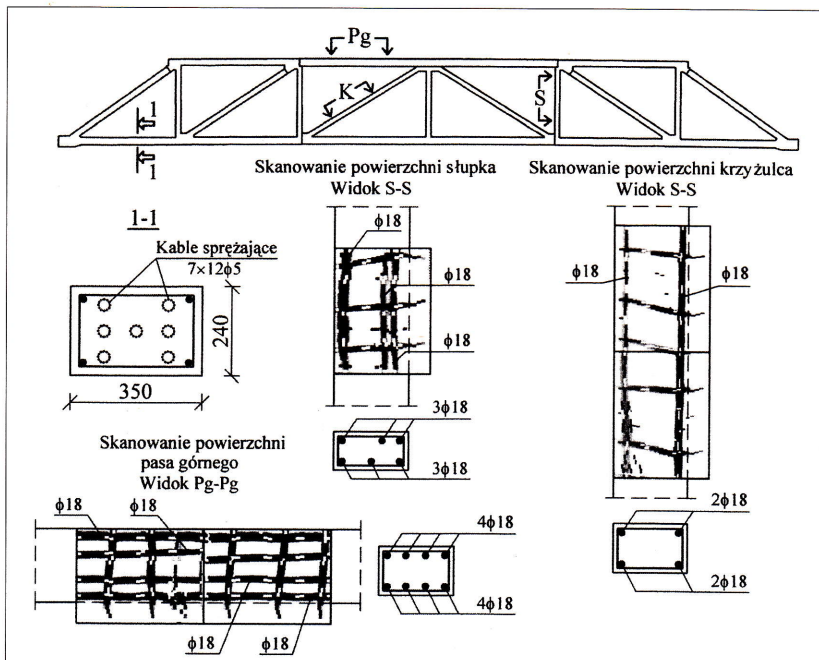
Fot. 5 | Szczegół „A” żelbetowo-sprężonej kratownicy „b”



Fot. 3 | Szczegół „A” pasa dolnego żelbetowo-sprężonej kratownicy „a”



Fot. 6 | Widoczne uszkodzenia krzyżulca i słupka kratownicy



Rys. 3 | Wyniki inwentaryzacji zbrojenia i sprężenia przęśła

Projekt wzmocnienia sprężonej konstrukcji nośnej załamanej przęśła estakady

Najprostszym rozwiązaniem projektowym byłoby wyburzenie załamanej przęśła o rozpiętości osiowej 24 m i zastąpienie go nową konstrukcją kratownic sprężonych lub stalowych. Jednak ze względu na wymogi ciągłości produkcji zakładów nie można było nawet częściowo wyłączyć z eksploatacji rurociągów przebiegających przez załamane i prowizorycznie podparte przęśło estakady. Należało zatem opracować taki projekt wzmocnienia załamanej przęśła, który by zakładał usuwanie prowizorycznych podpór etapami, ale równocześnie gwarantował wieloletnią bezpieczną eksploatację przęśła przy istniejących obciążeniach. Przy zerwaniu kabli sprężających w pasie dolnym kratownic oraz jego spękaniu i odkształceniu wykluczone było wzmocnienie poprzez zastosowanie nowego sprężenia zewnętrznego. Przyjęty do realizacji projekt odbudowy załamanej przęśła opierał się na czterech założeniach:

- Wykonaniu kompleksowej naprawy uszkodzonych elementów konstrukcji

kratownicy, tj. słupków, krzyżulców, poprzecznic i pasów górnych poprzez odtworzenie skorodowanego zbrojenia, ubytków w betonie i w otuleniu przy zastosowaniu materiałów i technologii renomowanej firmy specjalistycznej w tym zakresie.

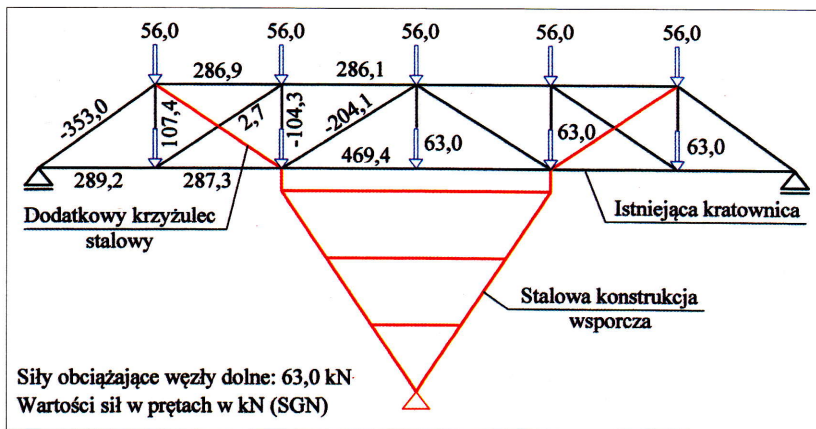
- Wykonaniu obudowy złamanych pasów dolnych każdej z uszkodzonych kratownic w postaci stalowego „koryta” wypełnionego odpowiednio modyfikowanym betonem i utworzeniu w ten sposób stalowo-betonowych pasów dolnych kratownic.

■ Zamianie schematu statycznego sprężonej kratownicy jednoprzęsłowej na trójprzęsłową kratownicę żelbetową. Modyfikacja ta wymagała sprawdzenia istnienia odpowiedniego zbrojenia słupków, krzyżulców i pasa górnego. Weryfikację zbrojenia w kratownicy wykonano Ferrosca-nem PS200 (rys. 3). Przeprowadzono następnie analizę statyczno-wytrzymałościową trójprzęsłowej kratownicy żelbetowej oraz zwymiarowano stalowe elementy podparcia. W celu zapewnienia bezpośredniego przekazania sił z węzłów górnych, i przez to redukcji sił w prętach kratownicy, wprowadzono dodatkowe krzyżulce stalowe. Ze względu na agresję środowiska zakładów przemysłowych przyjęto założenie, że przy pełnym programowanym obciążeniu wykorzystanie nośności prętów nie przekroczy 60%. Zmodyfikowaną statycznie kratownicę wraz z siłami w elementach kratowych i konstrukcją wsporczą przedstawiono na rys. 4

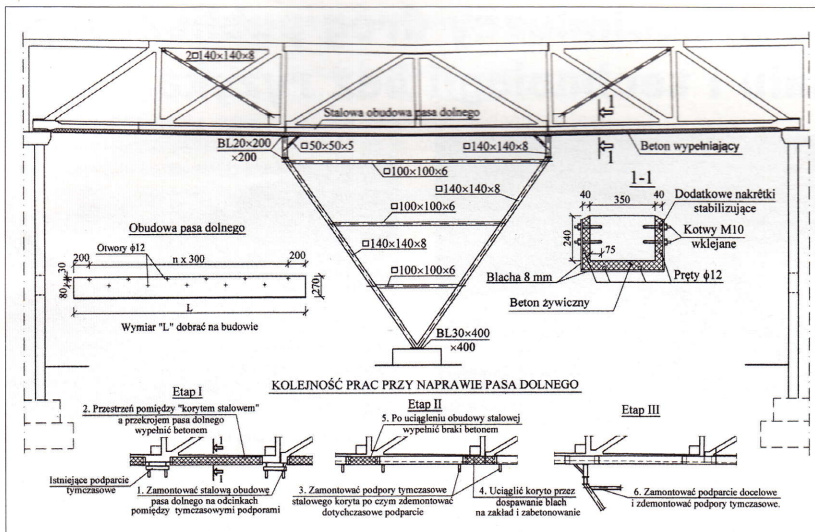
- Naprawie elementów uzupełniających, tj. pomostu przechodniego, barierek itp.

Realizacja wzmocnienia złamanej przęśła estakady

Rekonstrukcję załamanej przęśła estakady, tymczasowo podpartego w miejscach słupków kratownicy sprężonej, przeprowadzono etapowo.



Rys. 4 | Schemat podparcia 24-metrowej rozpiętości żelbetowo-sprężonej kratownicy wraz z działającym obciążeniem i siłami w prętach kratownicy



Rys. 5 | Szczegóły realizacji rekonstrukcji załamane go przęsła estakady

Wykonano naprawę wszystkich żelbetonowych elementów kratownic, tj. słupków, krzyżulców i pasów górnych oraz dolnych i górnych poprzecznic żelbetonowych.

W drugim etapie przystąpiono do rekonstrukcji pasów dolnych kratownic. Ze względu na spękania betonu dolnych pasów kratownic żelbetowo-sprężonych zaprojektowano ich obudowę stalową „korytem” zespolonym z istniejącym betonem przy użyciu wklejanych kotew M10, a następnie dodatkowo wypełniając koryta samozagęszczalnym betonem. Z uwagi na konieczność utrzymywania podparcia tymczasowego dźwigarów wykonanie stalowego koryta realizowano odcinkami pomię-

dzy istniejącymi podporami tymczasowymi. Po zakończeniu montażu koryta na odcinkach między tymczasowymi podporami i uzyskaniu przez beton odpowiedniej wytrzymałości przedstawiono podpory z węzłów kratownic na końcowe odcinki stalowego koryta, a następnie wykonano uciągnięcie koryta w węzłach przez przyspawanie blach na zakład oraz zabetonowanie brakujących odcinków koryta. Wykonano fundament pod konstrukcję podpierającą kratownicę. Schemat statyczny kratownicy pozwalał na usunięcie podpory tymczasowej w środku rozpiętości, co umożliwiło w jej miejscu wykonanie stopy fundamentowej.



Fot. 7 | Widoczne uszkodzenia krzyżulca i słupka kratownicy

Następnie wykonano dodatkowe krzyżulce stalowe w skrajnych przęsłach obydwu kratownic.

W etapie końcowym dokonano montażu ostatecznego podparcia dźwigarów, uzyskując trójprzęsłowy schemat pracy pasów dolnych dźwigarów żelbetonowych, a następnie zwolniono wszystkie tymczasowe podpory.

Szczegóły realizacji rekonstrukcji załamane go przęsła estakady – rys. 5.

Ostateczny widok zrekonstruowanego przęsła ilustruje fot. 7.

Wnioski

Betonowe kratownice sprężone kablami o rozpiętościach do 24 m projektowane i wykonywane w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia muszą podlegać regularnej kontroli technicznej obejmującej w szczególności badania korozyjne zakotwień i kabli sprężających oraz stan naciągu kabli. Badane przęsła wykazały niejednokrotnie stan przedawaryjny wymagający natychmiastowego wzmocnienia.

W rozważanym przypadku awarii przęsła kratownicy o rozpiętości w osiach podpór 24 m udało się przez prowizoryczne podparcie nie dopuścić do katastrofy, a następnie opracować i wykonać wzmocnienie przy założeniu zamiany sprężonej kratownicy 24-metrowej na trójprzęsłową kratownicę żelbetową o przęsłach rozpiętości 8 m.

Stosowanie jakichkolwiek dodatkowych podparć istniejących przęseł kratownic powoduje zmianę ich schematu statycznego i powinno być każdorazowo poprzedzone analizą statyczno-wytrzymałościową uwzględniającą możliwe do wystąpienia stany naprężeń.

prof. dr hab. inż. **Krzysztof Dyduch**
TEQUM Consulting Engineers

dr inż. **Rafał Szydłowski**
Politechnika Krakowska

Artykuł oparty na referacie przygotowanym na XXV konferencję „Awaryjne budowlane” (Szczecin-Międzyzdroje, maj 2011 r.)