



KRZYSZTOF DYDUCH, *k.dyduch@tequm.pl*

TEQUM Consulting Engineers, ul. Biskupia 1, 31-144 Kraków

RAFAŁ SZYDŁOWSKI, *rszydowski@imikb.wil.pk.edu.pl*

Politechnika Krakowska

## AWARIA I WZMOCNIENIE SPRĘŻONEJ KONSTRUKCJI NOŚNEJ ESTAKADY W ZAKŁADACH CHEMICZNYCH

### FAILURE AND STRENGTHENING OF PRESTRESSED CONCRETE TRUSS STRUCTURE IN THE CHEMICAL PLANT

**Streszczenie** W pracy opisano awarię pasa dolnego kratownic sprężonych wykonywanych w latach 1950÷52 o rozpiętości 23,5 obciążonych rurociągami wypełnionymi mediami w dużych Zakładach Chemicznych. Po prowizorycznym, tymczasowym podparciu kratownic, wykonano badania przyczyn ich awarii a następnie projekt wzmocnienia załamanego sprężonego przęsła poprzez zmianę jego schematu statycznego na trójprzęsłową kratownicę żelbetową o rozpiętości przęsła około 8 m.

**Abstract** The paper presents failure of the bottom flange of prestressed concrete truss 23,5 m span in the chemical plant. These trusses were loaded by industrial pipelines. The trusses of this type were built from 1950 to 1952. The inspection of failure reasons was carried out after failure of trusses and their temporary supporting. Further, the design for strengthening of both grates was prepared. The concept of strengthening was based on the changing the one-span structures to three-span structure by introduce additional supports.

### 1. Wprowadzenie

Projektowane w Polsce w latach 50-tych 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.

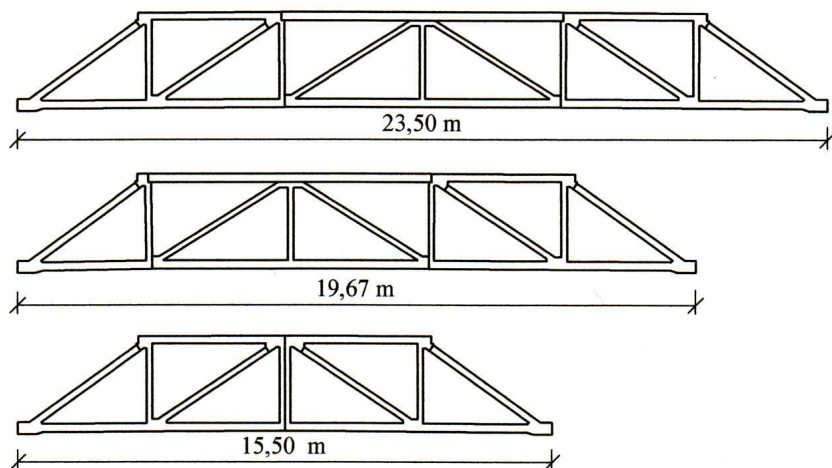
Zdarzały się niestety przypadki niespełnienia wymagań wykonawczych, a szczególności prawidłowych zabezpieczeń antykorozyjnych oraz prawidłowości w eksploatacji kratownic. W przedstawionej pracy analizowano przypadek awarii sprężonych kratownic, stanowiących konstrukcję nośną przęsła estakady zbudowanej w latach 1956÷57 w dużych Zakładach Chemicznych.

### 2. Opis konstrukcji estakady sprężonej

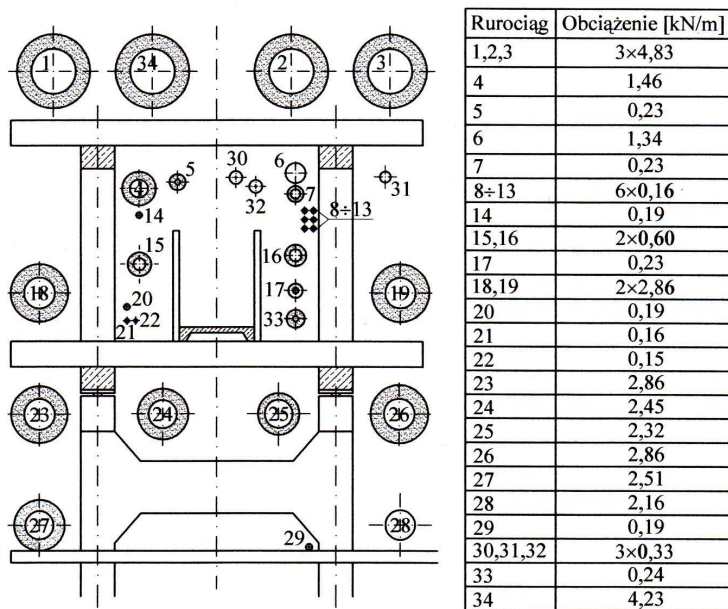
Zbudowana estakada składała się z 13 przęsła o rozpiętościach w osiach podpór 24, 20 i 16 m (rys. 1). Estakadę stanowią żelbetowe kratownice złożone z prefabrykowanych elementów o modułowej długości ok. 4,0 m, sprężone po montażu w pasie dolnym kablami typu Freyssineta 12  $\phi$  5. Wysokość kratownic liczona w osiach pasów wynosi ok. 2,5 m.

Styki pasów dolnych kratownic sprężonych zostały dodatkowo zespane przy pomocy 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 poprzecznkami. 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 poprzecznkach w przestrzeni pomiędzy kratownicami spoczywa pomost technologiczny wykonany z płyt żelbetowych.



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



Rys. 2. Schemat obciążenia estakady rurociągami

Uciąganie pasów górnych kratownic wykonano przy użyciu blach stalowych. Kablobetone dźwigary kratowe opierają się na podporach słupowych.

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

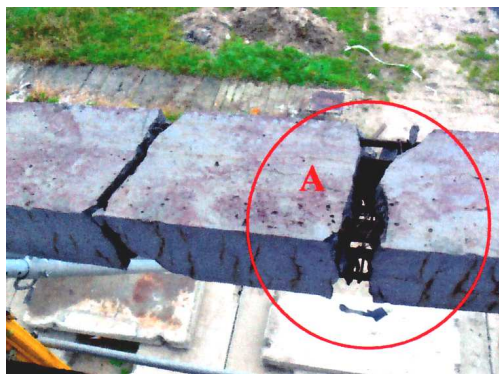
### 3. Awaria i uszkodzenia załamanej przęsła estakady

W trakcie pracy Zakładów wystąpiła niespodziewanie awaria jednego przęsła kratownicy 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 (rys. 3).

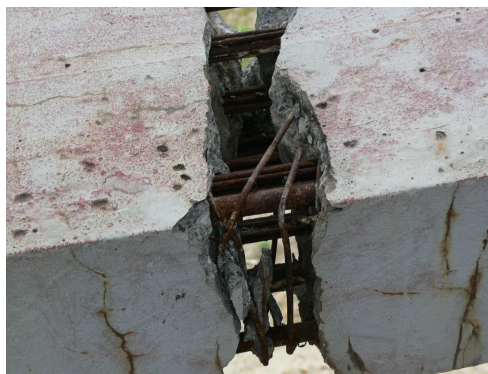
Badania wykazały, że przyczyną załamania przęsła estakady była duża korozja zarówno zakotwień kabli, jak i samych drutów sprzężających. Wystąpiło zerwanie skorodowanych kabli sprzężających w pasie dolnym kratownicy „a” (rys. 4 i 5). Równocześnie, w sąsiedniej kratownicy „b” awaryjnego przęsła doszło do ścięcia pasa dolnego w kratownicy (rys. 6 i 7). Ponadto w złamanym przęśle stwierdzono liczne uszkodzenia korozyjne słupków, krzyżulców i poprzecznic (rys. 8 i 9).



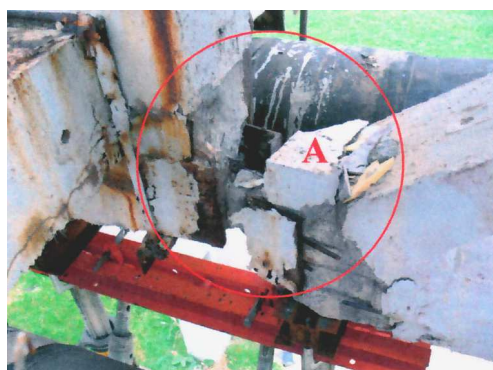
Rys. 3. Tymczasowe podparcie uszkodzonych kratownic



Rys. 4. Widok fragmentu przerwanego



Rys. 5. Szczegół „A” pasa dolnego żelbetowo-sprężonej kratownicy „a”



Rys. 6. Widok ściętego pasa dolnego



Rys. 7. Szczegół „A” żelbetowo-sprężonej kratownicy „b”



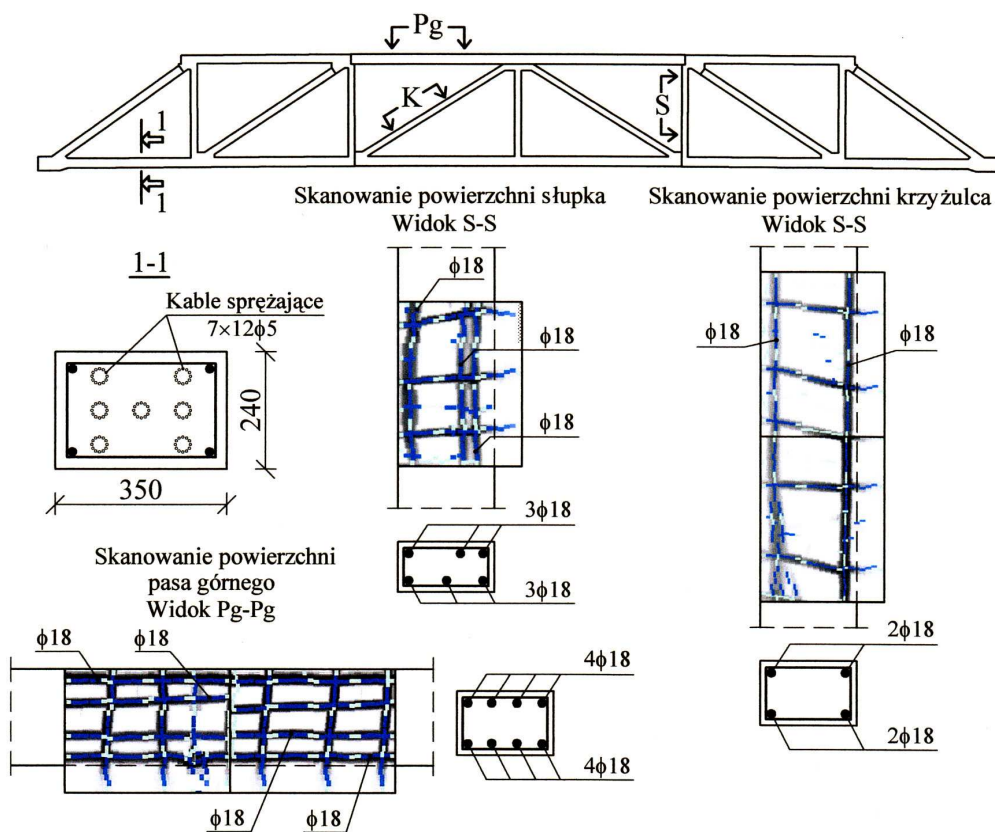
Rys. 8 i 9. Widoczne uszkodzenia krzyżulca i słupka kratownicy

#### 4. Projekt wzmocnienia sprężonej konstrukcji nośnej załamanej przęsła estakady

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

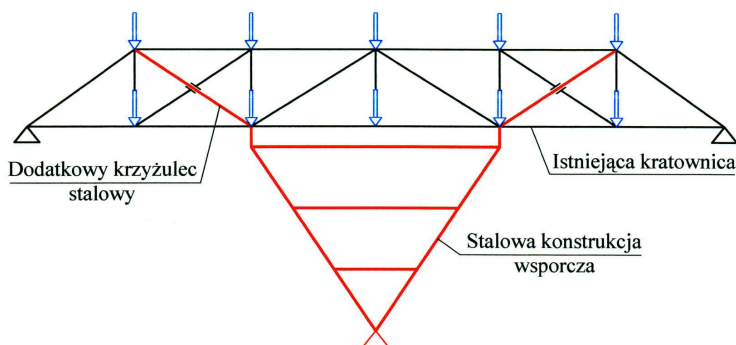
Przyjęty do realizacji projekt odbudowy załamanej przęsła opierał się na 4-ech założeniach:

- 1) Wykonaniu kompleksowej naprawy uszkodzonych elementów konstrukcji kratownicy tj. słupków, krzyżulców, poprzecznicy i pasów górnych poprzez odtworzenie skorodowanego zbrojenia, ubytków w betonie i w otuleniu przy zastosowaniu materiałów i technologii renomowanej firmy specjalistycznej w tym zakresie.
- 2) 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.



Rys. 10. Wyniki inwentaryzacji zbrojenia i sprężenia przęsła

- 3) Zamianie schematu statycznego sprężonej kratownicy jednoprzęsłowej na trójprzęsłową kratownicę żelbetową. Modyfikacja niniejsza wymagała sprawdzenia istnienia odpowiedniego zbrojenia słupków, krzyżulców i pasa górnego a także wykonania dla każdej kratownicy dwóch dodatkowych stalowych krzyżulców w skrajnych przęsłach nowo tworzonych 8 m rozpiętości kratownic. Weryfikację zbrojenia w kratownicy wykonano Ferroskanem PS200 (rys. 10).
  - 4) Naprawie elementów uzupełniających tj. pomostu przechodniego, barierek ...itp.
- Schemat wzmocnienia i podparcia załamanych kratownic przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11. Schemat podparcia 24 m rozpiętości żelbetowo-sprężonej kratownicy

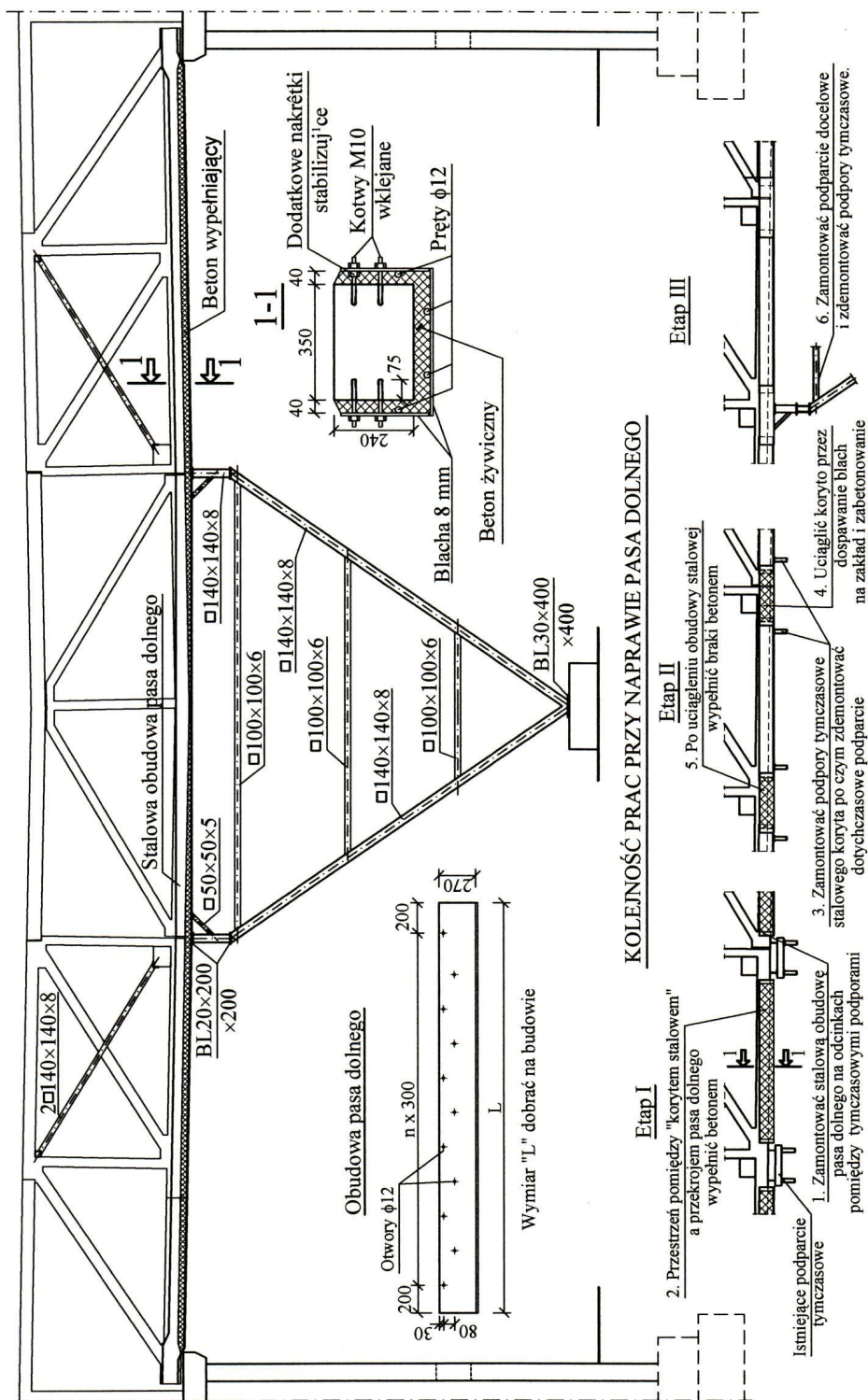
### 5. Realizacja wzmocnienia złamanego przęsła estakady

Rekonstrukcję załamane go przęsła estakady tymczasowo podpartego w miejscach słupków kratownicy sprężonej, przeprowadzono etapowo:

- 1) Wykonano naprawę wszystkich żelbetowych elementów kratownic tj. słupków, krzyżulców i pasów górnych oraz dolnych i górnych poprzecznic żelbetowych.
- 2) W drugim etapie przystąpiono do rekonstrukcji pasów dolnych kratownic. Ze względu na spękania betonu dolnych pasów kratownic żelbetowo-sprężonych, zaprojektowano ich obudowę stalowym „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 pomiędzy istniejącymi podporami tymczasowymi. Po zakończeniu montażu koryta na odcinkach między tymczasowymi podporami i uzyskaniu przez beton odpowiedniej wytrzymałości przestawiono podpory z węzłów kratownic na końcowe odcinki stalowego koryta, a następnie wykonano uciąglenie koryta w węzłach przez przyspawanie blach na zakład oraz zabetonowanie brakujących odcinków koryta.
- 3) W kolejności 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.
- 4) Następnie wykonano dodatkowe krzyżulce stalowe w skrajnych przęsłach obydwu kratownic.
- 5) W etapie końcowym dokonano montażu ostatecznego podparcia dźwigarów, uzyskując trójprzęsłowy schemat pracy pasów dolnych dźwigarów żelbetowych, a następnie zwolniono wszystkie tymczasowe podpory.

Szczegóły realizacji rekonstrukcji załamane go przęsła estakady przedstawiono na rys. 12.

Ostateczny widok zrekonstruowane go przęsła ilustruje rys. 13.



Rys. 12 Szczegóły wzmocnienia i podparcie uszkodzonych kratownic



Rys. 13. Widok przęsła po wykonaniu wzmocnienia

## 6. Wnioski

- 1) 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.
- 2) W rozważanym w opracowaniu przypadku awarii przęsła kratownicy o rozpiętości w osiach podpór 24 m udało się poprzez 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.
- 3) Stosowania 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.