

Most Uniwersytecki w Bydgoszczy. Teoretyczne podstawy decyzji o wyłączeniu obiektu z ruchu

Wstęp

Trasa Uniwersytecka to kluczowy element układu komunikacyjnego Bydgoszczy (rys. 1, 2). Przeprawa mostowa składa się z dwóch zasadniczych typów konstrukcji [9]. Estakady dojazdowe z dwóch stron rzeki zaprojektowano i wykonano jako żelbetowe, sprężone. Część nurtową stanowi most podwieszony o konstrukcji stalowej ze współpracującą płytą żelbetową. Konstrukcja podwieszona nad rzeką Brdą to spektakularna próba opracowania efektownej formy estetycznej przy zachowaniu cech funkcjonalnych. Niestety, kontrowersyjna forma architektoniczna mostu zdominowała konstrukcję i tym samym pozbawiła Trasę Uniwersytecką ważnych składników funkcjonalnych.

Trasa Uniwersytecka w pierwotnej wersji była wzbogacona o chodniki i dodatkowy węzeł łączący ją z ul. Toruńską. Aby sprostać wyzwaniom finansowym związanym z realizacją ambicji estetycznych, trasę pozbawiono cią-



Rys. 1. Trasa Uniwersytecka w Bydgoszczy (fot: gotowski.pl)



Rys. 2. Most Uniwersytecki w Bydgoszczy (fot: wyborcza.pl)

gów pieszych i połączeń na prawym brzegu Brdy. Projektantem trasy jest Transprojekt Gdański, wykonawcą konsorcjum firm Mosty Łódź SA i Gotowski Sp. z o.o. Autorką projektu drogowego jest mgr inż. Joanna Bała-Żółtowska. Autorem projektu mostu jest mgr inż. Tadeusz Stefanowski. Budowę rozpoczęto w 2010 roku. Trasę oddano do użytkowania 30.11.2013 roku.

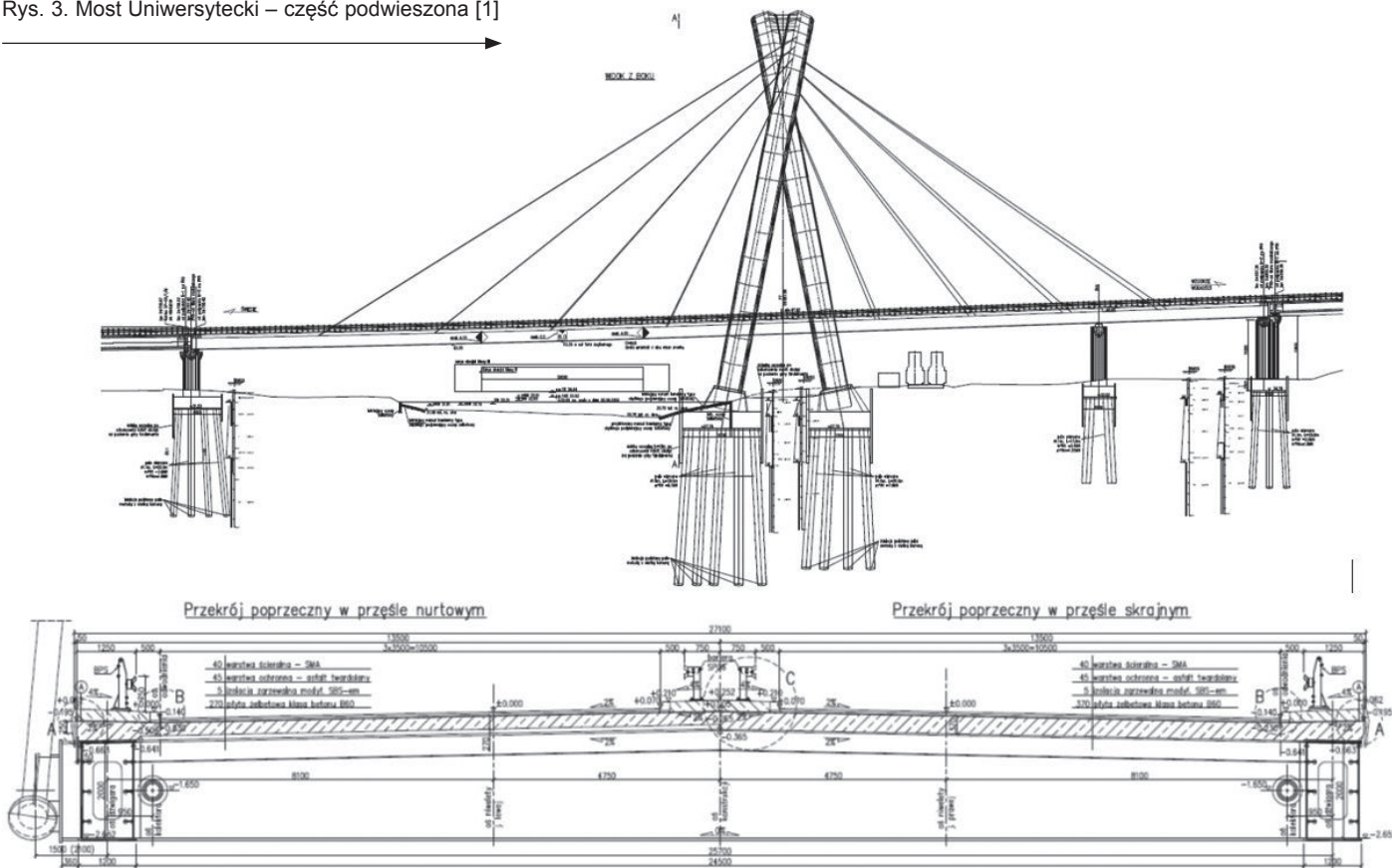
Tematem rozważań zawartych w artykule jest most M-2 w ciągu Trasy Uniwersyteckiej w Bydgoszczy (rys. 2). Schemat statyczny mostu to belka ciągła podwieszona do pylonu, o rozpiętościach przęseł 110 + 90 m (rys. 3). Przekrój poprzeczny stanowi układ zespolony: żelbetowa płyta z betonu B60, oparta na ruszcie z belek stalowych. Przęsła i pylony zaprojektowano i wykonano ze stali S420M. Liny podwieszenia zaprojektowano o zróżnicowanym przekroju od 72 do 109 splotów 7-drutowych ze stali Y1860. Sploty umieszczono w osłonie z HDPE. Wanty zakotwiono z jednej strony w stalowych wspornikach wychodzących na zewnątrz w obrys przęsła, a z drugiej strony w pylonie. Dostawcą i wykonawcą podwieszenia była firma BBR Polska.

Istotnym dla zrozumienia idei statycznej konstrukcji jest fakt braku podparcia konstrukcji przęseł w rejonie posadowienia pylonu. Konstrukcja pomostu jest podwieszona i pozbawiona podpór stałych niemal na całej długości. Montaż konstrukcji wykonano tradycyjnie, z wykorzystaniem podpór tymczasowych w nurcie [3]. Po wykonaniu podpór, pylonu i przęsła zamontowano oraz napięto układ want.

Oznaki przeciążenia konstrukcji

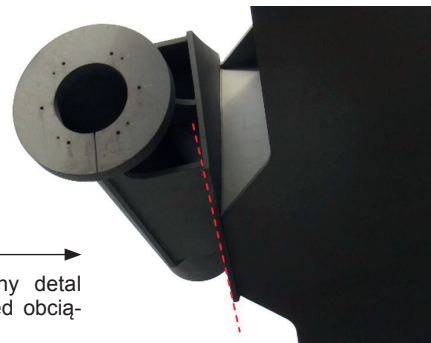
W lipcu 2020 roku na zlecenie Zarząd Dróg Miejskich i Komunikacji Publicznej (ZDMiKP) w Bydgoszczy przeprowadzono pomiary sił w linach podwieszenia Mostu Uniwersyteckiego [5]. Badania przeprowadzono metodą wibracyjną. Dodatkową czynnością do wykonania była ocena stanu technicznego lin i zakotwień podwieszenia. W czasie przeglądu wykorzystano aparat fotograficzny wyposażony w obiektyw ze znacznym powiększeniem optycznym. Zauważono duże deformacje blach konstrukcji zakotwień (rys. 4). Biorąc pod uwagę grubości wygiętych blach oraz nietypową, niezgodną z zasadami kształtowania detali stalowych, konstrukcję zakotwień, sprawę potraktowano bardzo poważnie. Po konsultacjach z wykonawcą konstrukcji przyjęto, że deformacje powstały w wyniku działania obciążenia pochodzącego od want. Wstępnie oszacowane wielkości deformacji wskazywały na znaczne uplastycznienie stali w zakotwieniach. Zauważono oznaki płynięcia plastycznego na powierzchniach w sąsiedztwie połączeń spawanych. Objawiały się one

Rys. 3. Most Uniwersytecki – część podwieszona [1]



prążkową strukturą na powłokach malarskich (rys. 4). Wykluczono możliwość powstania zauważonych deformacji na etapie wytwarzania konstrukcji węzłów. Na rysunku 5 pokazano węzeł zakotwienia jeszcze przed montażem wanty, który później uległ deformacji. Na podstawie oględzin wstępnych sformułowano następujące wnioski:

1. Konstrukcja zakotwień wanty została zaprojektowana niezgodnie ze sztuką kształtowania konstrukcji stalowych.
2. Zauważone deformacje blach mają charakter plastyczny i są naturalną konsekwencją przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego.



Rys. 5. Niezdeformowany detal zamocowania wanty przed obciążeniem

3. Szczegółowe rozwiązania konstrukcyjne mają charakter korbów geometrycznych i wskazują na miejsca koncentracji naprężeń w obszarach połączeń spawanych.
4. Całość wskazuje na przeciążenie i pracę w zakresie plastycznym.
5. Najgorzej wyglądające zakotwienia znajdują na sześciu najdłuższych wantach.

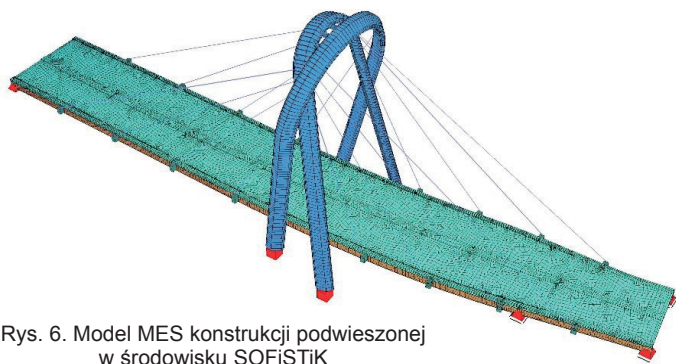
Zalecono ograniczenie ruchu na moście oraz zaproponowano wykonanie ekspertyzy określającej przyczynę zauważonych deformacji i nośność konstrukcji. W ramach dalszych prac eksperckich wykonano inwentaryzację geometrii blach zakotwień, wykonano obliczenia określające nośność zakotwień oraz dokonano szczegółowego przeglądu i badania spoin w konstrukcjach zakotwień.

Teoretyczna analiza nośności

W ramach analiz teoretycznych wykonano globalny model MES konstrukcji mostu (rys. 6) w celu określenia normowych sił w linach podwieszania. Pylony, wanty oraz ruszt stalowy prześła zamodelowano za pomocą elementów cięgnowych i belkowych. Płytę jezdni modelowano



Rys. 4. Przykłady zdeformowanych blach zakotwień wanty i oznaki przeciążenia



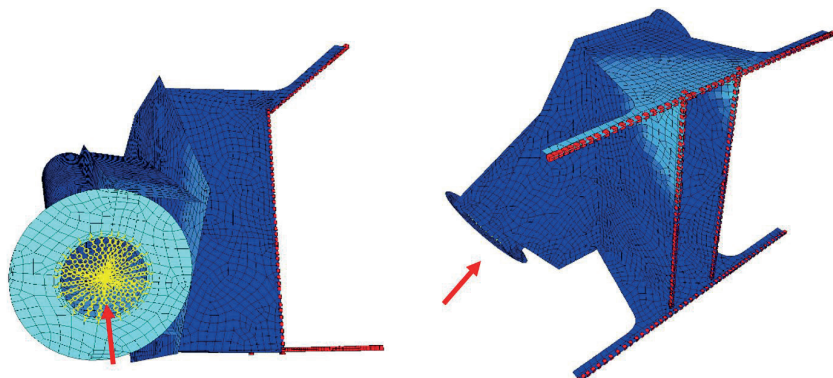
Rys. 6. Model MES konstrukcji podwieszonej w środowisku SOFiSTiK

jako powłokę. Efekt zespolenia uzyskano przez opisanie elementów belkowych rusztu jezdni na wspólnych węzłach z powłoką jezdni. Model poddano walidacji dzięki wynikom próbnego obciążenia oraz wynikom przeprowadzonych wcześniej pomiarów sił w linach.

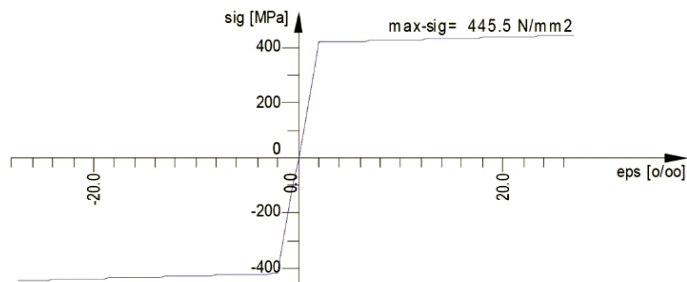
Kolejnym krokiem było stworzenie modeli szczegółowych węzłów zakotwień. Modele te zostały wykonane w całości jako powłokowe, z wykorzystaniem elementu QUAD 4 w środowisku MES SOFiSTiK. Dzięki wspornikowej pracy analizowanego detalu zrezygnowano z modelowania dźwigara stalowego. Obciążenie przykładano do pierścienia oporowego za pomocą siły skupionej poprzez więzy kinematyczne. Przykładowy model szczegółowy pokazano na rysunku 7. Podobne modele MES wykonano dla wszystkich szesnastu węzłów (rys. 9). W referacie przedstawiono wyniki szczegółowe dla najbardziej wyężonego węzła nr 2201 (rys. 9). Przeprowadzone analizy były nieliniowe. Wykonano je z wykorzystaniem nieliniowego prawa materiałowego dla stali S420M zaimplementowanego w oprogramowaniu SOFiSTiK (rys. 8). Uwzględniono również wpływ przemieszczeń na siły wewnętrzne. Obliczenia prowadzono dla trzech istotnych dla konstrukcji poziomów obciążenia:

- **char. Cw** – siła charakterystyczna w linii pod ciężarem własnym,
- **char. Max** – maksymalna charakterystyczna siła w linii wg PN-85/S-10030 dla ciężaru własnego i klasy A obciążenia,
- **obl. Max** – maksymalna obliczeniowa siła w linii wg PN-85/S-10030 dla ciężaru własnego i klasy A obciążenia.

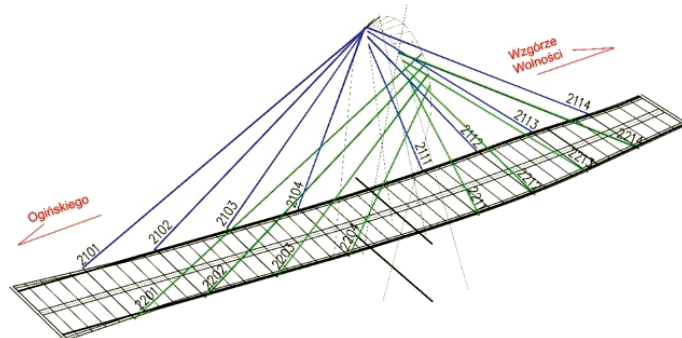
Wyniki analiz potwierdziły przewidywany wstępnie stan zagrożenia [6]. Węzły nr 2101, 2201, 2113 i 2213 wykazały brak nośności pod ciężarem własnym (**char. Cw**). Pozostałe węzły osiągnęły zróżnicowaną nośności. Część (tj. węzły 2102, 2103, 2104, 2111, 2112, 2202, 2203, 2204,



Rys. 7. Model MES zakotwienia z typowym układem warunków brzegowych i sposobem obciążania



Rys. 8. Prawo materiałowe wykorzystane w analizach określających nośność elementów

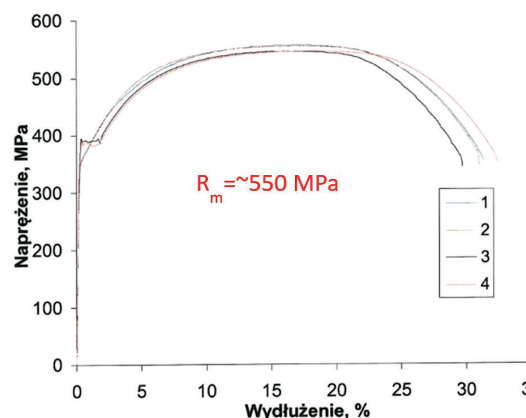


Rys. 9. Przyjęta numeracja zakotwień mostu Uniwersyteckiego

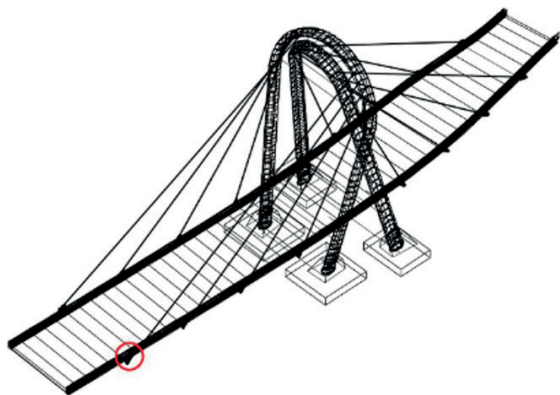
2211, 2212) osiągnęła lub przekroczyła wymaganą normą nośność obliczeniową (**obl. Max**). Natomiast węzły 2114 i 2214 wykazały nośność w zakresie **char. Cw**, ale nie osiągnęły nośności w zakresie **obl. Max**. Brak nośności w zakresie **char. Cw** określony dla kluczowych węzłów wskazują na wysokie ryzyko katastrofy budowlanej, do której nie doszło. Gdzie zatem znajdują się rezerwy, których nie uwzględniono w analizie? Odpowiedź jest jak zwykle złożona, ale można wprost wskazać dwa istotne dla oceny czynniki. Obliczenia były prowadzone z ograniczeniem wartości odkształceń zgodnie z zaleceniami Eurokodu. Procedura zaimplementowana w środowisku MES SOFiSTiK automatycznie przerywa analizę przy przekroczeniu wartości maksymalnych odkształceń ponad 5%. Pewne rezerwy nośności można też znaleźć w zastosowanym prawie materiałowym. Późniejsze badania [11] wskazują na większą niż zakładano nośność stali S420M w strefie wzmocnienia (rys. 10).

Rozszerzona analiza nośności węzła nr 2201

W [6] zamieszczono wyniki podstawowych analiz dla węzłów. Na rysunku 11 przedstawiono lokalizację węzła nr

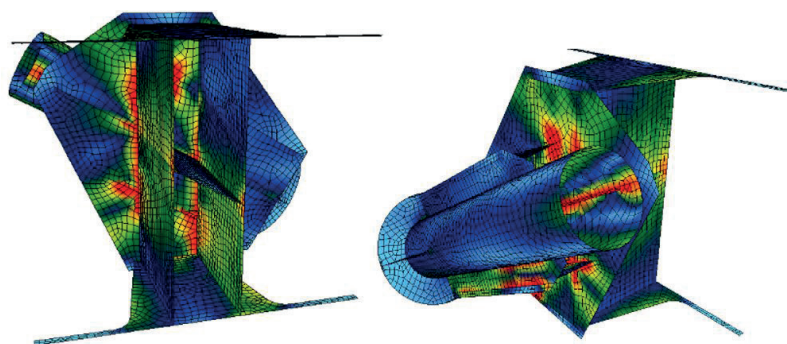


Rys. 10. Wynik próby rozciągania 4 próbek stali S420M pobranych z mostu [5]

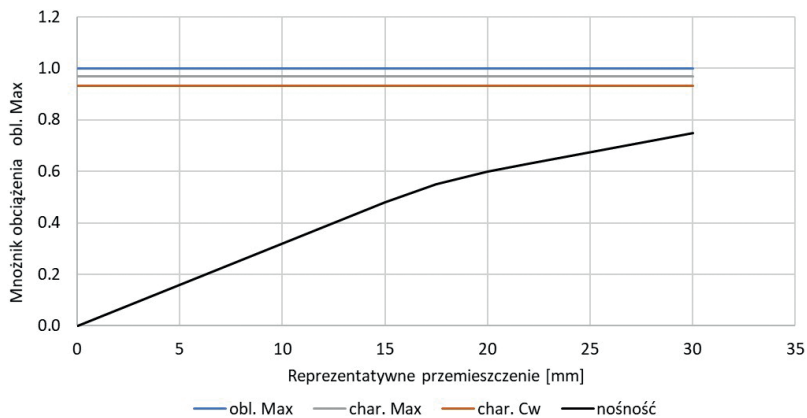


Nr wany	char. Cw [kN]	char. Max [kN]	obl. Max [kN]
2201	10440	10874	11208

Liczba splotów w wancie - 96. Siła zrywająca 26784 kN
Rys. 11. Lokalizacja węzła 2201, wartości siły w wancie i główne parametry



Rys. 12. Wizualizacja węzła nr 2201 z pokazaniem w kolorze czerwonym stref plastycznych

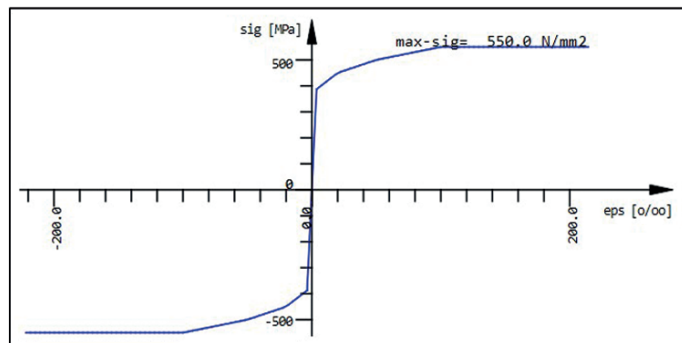


Rys. 13 Wynik analizy węzła nr 2201. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obl. siły max w linii dla Cw+k1 A)

2201 oraz podano siły w zamocowanej w nim wancie od obciążeń **char. Cw**, **char. Max** i **obl. Max**. Na rysunku 12 oraz 13 pokazano wyniki określone w [6]. Przedstawiono poglądowo strefy pełnego uplastycznienia (kolor czerwony) i wyniki analizy nośności przy ograniczeniu odkształceń i wykorzystaniu uproszczonego prawa materiałowego (rys. 8). Na wykresach przedstawiających wyniki analiz nieliniowych mnożnik obciążenia na osi rzędnych o wartości 1.0 odpowiada wartości **obl. Max**.

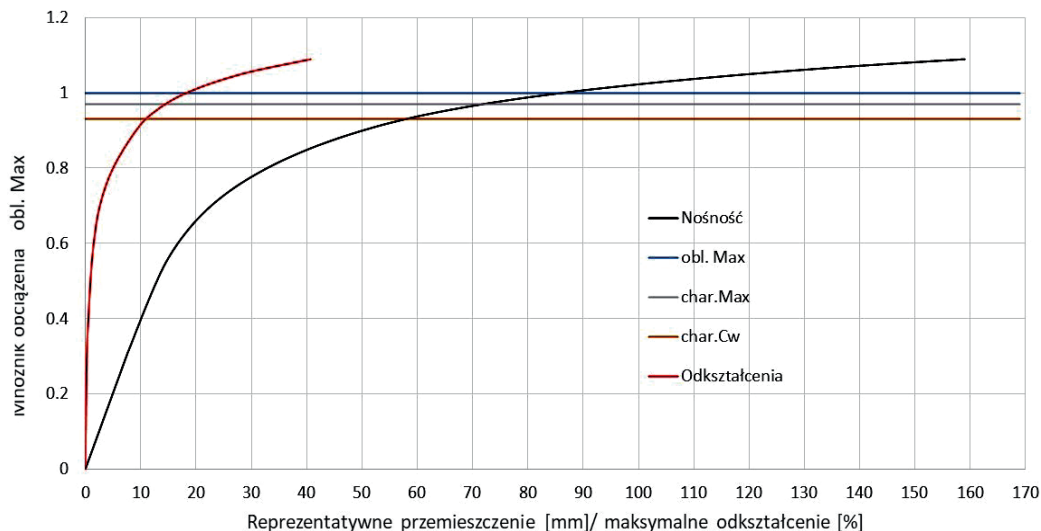
Inspirując się opracowaniem [4] w celu poszukiwania rezerw nośności powtórzone analizę węzła 2201 przy alternatywnych założeniach. Wyłączono ograniczenie dla wartości odkształceń i zastosowano prawo materiałowe odpowiadające w przybliżeniu próbie rozciągania dla stali S420M pobranej z konstrukcji mostu (rys. 14).

Wynik analizy przedstawiono za pomocą wykresu „ścieżki równowagi” analogicznie do wcześniejszych podsumowań (rys. 15). Przedstawia ona zależność pomiędzy mnożnikiem obciążenia i przemieszczeniami wybranego węzła pierścienia oporowego w kierunku poziomym, prostopadłym do osi wany (kolor czarny). Na rysunku dodano do klasycznego przebiegu ścieżki równowagi wykres zmienności maksymalnych odkształceń w analizowanym węźle



Work law for nonlinear QUAD-elements Mno: 1

Rys. 14. Prawo materiałowe wykorzystane w analizie dodatkowej węzła nr 2201



(kolor czerwony) w funkcji obciążenia. Podano również (zaznaczone poziomo) trzy wcześniej ustalone wielkości charakterystyczne dla konstrukcji (rys. 11). Mnożnikowi „1” odpowiada maksymalnej obliczeniowej sile w wancie. Wykresy na rysunku 15 pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

Rys. 15. Wynik analizy przy alternatywnych założeniach wstępnych dla węzła nr 2201

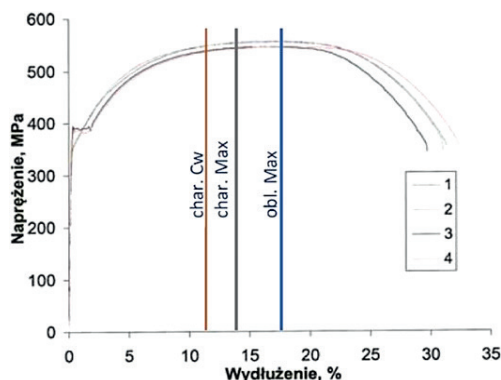
1. Stan pod obciążeniem charakterystycznym ciężarem własnym (**char. Cw**) skutkuje pełnym uplastycznieniem elementów węzła i odkształceniami o wartościach maksymalnych ~10–11%.

2. Stan pod obciążeniem charakterystycznym ciężarem własnym i ruchomym (**char. Max**) skutkuje pełnym uplastycznieniem elementów węzła i odkształceniami o wartościach maksymalnych ~13–14%.

3. Stan pod obciążeniem obliczeniowym ciężarem własnym i ruchomym (**obl. Max**) skutkuje pełnym uplastycznieniem elementów węzła i odkształceniami o wartościach maksymalnych ~17–18%.

4. Przy odkształceniu o wartości 5% osiągnięto mnożnik obciążenia wynoszący ~0,8.

Należy przy tym podkreślić, że poziom wiarygodności modelu MES w tym przypadku powinien zostać, z uwagi na duży poziom odkształceń, znacznie ograniczony. Z technicznego punktu widzenia przedstawiona analiza nie powinna być brana pod uwagę przy ocenie bezpieczeństwa konstrukcji. Niemniej jednak wynik obrazuje sytuację, w której znalazła się konstrukcja zakotwień. Na wykresie próby jednoosiowego rozciągania (rys. 16) oznaczono otrzymane progowe wartości odkształceń stali węzła 2201 w celu zobrazowania jego stanu wyętwienia.



Rys. 16. Stan maksymalnych odkształceń materiału węzła 2201 naniesiony na wynik testu jednoosiowego rozciągania

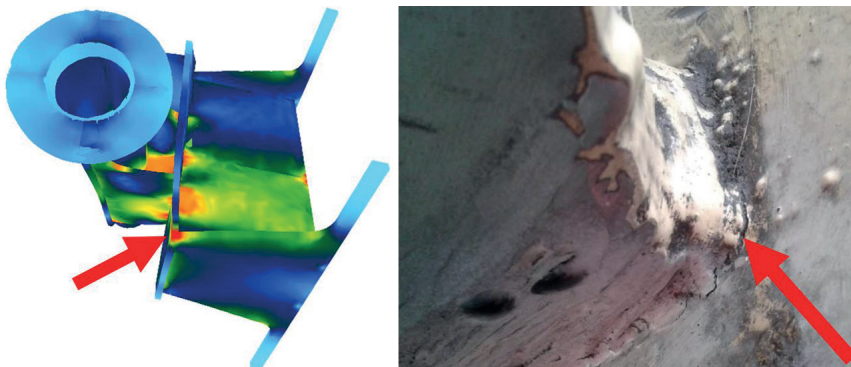
Badania diagnostyczne konstrukcji mostu

Równoległe do prowadzonych analiz wykonano szereg oględzin i badań konstrukcji mostu:

1. Wykonano skaning laserowy konstrukcji ze szczególną uwagą zwróconą na zakotwienia want.
2. Wykonano pomiary geodezyjne niwelety mostu.
3. Przeprowadzono przegląd wizualny konstrukcji stalowej przęseł i pylonów.
4. Wykonano badania diagnostyczne spoin kluczowych połączeń w węzłach zakotwień lin.

Oględziny konstrukcji nie wykazały oznak degradacji lub przeciążeń. Oznacza to, że poza zakotwieniami lin konstrukcja pracuje prawidłowo. Badania diagnostyczne spoin [10] uwiarydliły pęknięcia (naderwania) w węzłach nr 2213 i 2214, w strefach największych odkształceń (rys. 17). Inne wady w węzłach 2201 i 2113 uznano za mniej istotne. W węzłach 2213 i 2214 są ewidentne przekroczenia dopuszczalnych naprężeń i dodatkowo występuje znacząco większy wpływ obciążeń ruchomych niż w węźle nr 2201. Poza tym widać gołym okiem karb struk-

turalny będący skutkiem działań projektowych. Wynika stąd, że poza ewidentnym spiętrzeniem naprężeń mogły się tam również ujawnić destrukcyjne efekty zmęczeniowe. Na rysunku nr 17 pokazano przykładowe pęknięcie i jego usytuowanie na modelu MES. Czerwonym kolorem oznaczono miejsca największego wyętwienia.



Rys. 17. Węzeł 2113. Zidentyfikowane pęknięcia i lokalizacja w węźle [6]

Podsumowanie analiz i badań

W wyniku przeprowadzonych obliczeń i dokonanych oględzin oraz badań sformułowano następujące wnioski:

- Analizy przeprowadzono na podstawie dokumentacji projektowej i technologicznej mostu. Nie natrafiono na rozbieżności pomiędzy dokumentacją i stanem faktycznym. Nie wprowadzono imperfekcji wstępnych w geometrii i strukturze. Analizowano „idealne” węzły.

- Postaci deformacji blach węzłów otrzymane w obliczeniach znajdują potwierdzenie w naturze.

- Zakotwienia want nr 2101, 2201, 2113 i 2213 wykazują teoretycznie wyczerpanie nośności pod ciężarem własnym konstrukcji (w zakresie odkształceń do 5%). Zakotwienia nr 2104, 2204, 2114 i 2214 wykazują nośność pod ciężarem własnym, ale nie spełniają warunków nośności normowej.

- Fakt niewystąpienia awarii można tłumaczyć niewielką rezerwą nośności stali (faza wzmocnienia po uplastycznieniu określona na podstawie badań próbek pobranych z mostu) nieuwzględnionej w przeprowadzonych analizach teoretycznych oraz małym udziałem obciążeń ruchomych w całości obciążeń oddziałujących na węzły.

- W świetle zaawansowanych obliczeń teoretycznych cztery wymienione powyżej zakotwienia want (2101, 2201, 2113 i 2213) osiągnęły stan bezpośredniego zagrożenia awarią pod ciężarem własnym mostu.

- W świetle wymagań normowych wszystkie węzły wymienione powyżej nie spełniają warunków nośności.

- **W wyniku przeprowadzonych analiz i badań stwierdzono, że Most Uniwersytecki jest bezpośrednio zagrożony awarią mogącą doprowadzić do katastrofy budowlanej.**

Posiłkując się pracą [6] oraz przemyśleniami własnymi Zarząd Dróg Miejskich i Komunikacji Publicznej w Bydgoszczy podjął decyzję o zamknięciu Mostu Uniwersyteckiego i przystąpieniu do procedury naprawczej. Decyzja ta spowodowała spodziewane wrzenie w mieście, ale również odbiła się silnym echem poza Bydgoszczą.

Podsumowanie

Prace eksperckie wykonane na Moście Uniwersyteckim wykonywano pod presją czasu i odpowiedzialności za bez-

pieczeństwo konstrukcji oraz jej użytkowników. Gołym okiem było widać, że wygięcia blach o grubości 40 mm muszą skutkować uplastycznieniem materiału, należało jednak wykazać lub wykluczyć potencjalne zagrożenia. Decyzja o zamknięciu mostu była podjęta kolektywnie. Zdecydowało poczucie odpowiedzialności za bezpieczeństwo konstrukcji i jej użytkowników. Po ogłoszeniu decyzji o zamknięciu mostu ukazały się głosy kontestujące ją. Później, w ślad za opiniami krytykującymi wdrożone postępowanie, pojawiła się kompleksowa ekspertyza [4] opracowana na zlecenie projektanta trasy. Autorzy przeprowadzili zaawansowane teoretyczne obliczenia numeryczne węzłów z wykorzystaniem prawa materiałowego określonego na podstawie badań [11]. Przeprowadzono symulację zniszczenia węzła, przyjmując nośność graniczną jako stan odkształceń wynoszący 16–20%, w zależności od grubości blachy. Dla tak przyjętych parametrów otrzymano nośność węzła 2201 przewyższającą o 10% rzeczywisty stan wyężenia od ciężaru własnego. Autorzy pracy [4] po przeprowadzeniu oględzin konstrukcji i analiz teoretycznych zarekomendowali przywrócenie ograniczonego ruchu na moście. Pomimo odmiennych wniosków, obliczenia zawarte w [4] zostały docenione i wykorzystane przez zespół [6] jako niezależny dowód na słuszność podjętych decyzji. Dodatkowe obliczenia inspirowane opracowaniem [4] umocniły autorów w słuszności przyjętego postępowania (patrz rys. 16) Wnioski i rekomendacje zawarte w opracowaniu [4] nie zostały zrealizowane. Spowodowały jednak dyskusję dotyczącą przesłanek, jakimi należy się kierować w ocenie bezpieczeństwa i dopuszczenia do eksploatacji konstrukcji budowlanej. Decydenci nie mieli wątpliwości, że obiekt mostowy przekazany do użytkowania powinien spełniać kryteria niezawodności wypracowane i wprowadzone do stosowania w wyniku ponad 100-letnich doświadczeń obfitujących w katastrofy i awarie.

Wielu badaczy w Polsce i na świecie zajmuje się obecnie problematyką niezawodności i bezpieczeństwa konstrukcji. Prof. *Lech Czarniecki* w pracy [2] napisał, cytując *J.M. Keynesa*: „Lepiej mieć w przybliżeniu rację niż się precyzyjnie mylić.”. Ten cytat zdaniem autora „uzmysławia dylemat zawarty między dokładnością a uproszczeniem, na ile nasze dane i modele są odległe od prawdy i jakie to może mieć skutki w obszarze bezpieczeństwa i niezawodności...”.

Efektom prac naukowych związanych z niezawodnością są normowe współczynniki bezpieczeństwa. Analizowany most nie spełnia warunków norm, według których został zaprojektowany, obecnie stosowanych Eurokodów ani żadnych innych zdroworozsądkowych kryteriów. Ocena ekspercka konstrukcji musi uwzględniać fakt niedoskonałości modeli teoretycznych. Ekspert powinien mieć pewność, że zastosowany w analizie model jest dla konstrukcji bezpieczny. Jeżeli nie stosuje się współczynników normowych będących efektem analiz niezawodności, należałoby przeprowadzić własne badania bezpieczeństwa analizowanych detali konstrukcyjnych. Standardowa procedura w takim przypadku polega na przeprowadzeniu wielu serii zadań statystycznych, dotyczących wszystkich czynników mających wpływ na wynik. Trzeba poprzez badania statystyczne odpowiedzieć na szereg pytań. Niektóre z nich mogą brzmieć następująco:

1. Jaki jest błąd w określeniu siły w linii mostu wantowego wyznaczonej na podstawie metody wibracyjnej.

2. Jaki jest błąd w określeniu własności materiałowych stali takich jak: moduł Younga, granica sprężystości, granica plastyczności (umowna), wielkość odkształceń przy zerwaniu, nośność graniczna przy zerwaniu.

3. Jaki jest błąd określenia prawa materiałowego na podstawie próby jednoosiowego rozciągania.

4. Jaki jest błąd wynikający z nieuwzględnienia struktury materiału rodzimego, spoiny i strefy wpływu ciepła.

5. Jaki jest błąd odwzorowania badanej konstrukcji jednorodnym modelem powłoki cienkiej.

6. Jaki jest błąd nieuwzględnienia III składnika naprężeń, prostopadłego do powierzchni środkowej powłoki, szczególnie w miejscach połączeń płatów prostopadłych poddanych rozrywaniu w modelu powłoki cienkiej.

7. Jaki jest błąd w zastosowaniu elementu powłoki cienkiej w zakresie dużych odkształceń.

8. Jaki jest błąd w określeniu wartości „ograniczonych obciążeń”, które autorzy ekspertyzy [4] dopuszczają na moście.

Ostatecznie zgodnie stwierdzono w [6] i [4], że powodem złego stanu zakotwień jest błąd projektowy. W ramach prac eksperckich dotyczących Mostu Uniwersyteckiego wykonano również koncepcję wzmocnienia węzłów zakotwień want [7]. Most Uniwersytecki został przywrócony do ruchu 26.01.2022. Niezależne analizy nośności węzłów wykonane przez projektantów i zrealizowane projekty wzmocnienia [1] są ostateczną weryfikacją dotychczasowych prac eksperckich. Kompletny zbiór dokumentów dotyczących Mostu Uniwersyteckiego zawarto w [8].

Prace i badania przedstawione w artykule były finansowane przez Zarząd Dróg Miejskich i Komunikacji Publicznej w Bydgoszczy w ramach zleconych prac eksperckich.

PIŚMIENNICTWO

- [1] *Bilińczuk J., Kożuch M., Lorenc W., Onysyk J., Skrętkowicz Ł., Sułkowski M., & Teichgraeber M.*: Projekt wzmocnienia węzłów zakotwienia want w moście Uniwersyteckim w Bydgoszczy. Seminarium Naukowo-Techniczne Wrocławskie Dni Mostowe – Bezpieczeństwo Budowli Mostowych – Wrocław, 25–26.11.2021.
- [2] *Czarniecki L.*: Lepiej mieć w przybliżeniu rację niż się precyzyjnie mylić; podstawy naukowe działalności budowlanej. XIV Konferencja Naukowo – Techniczna, WARSZTAT PRACY RZECZOZNAWCY BUDOWLANEGO, Kielce-Cedzyna, 2016.
- [3] *Sokołowski W., Sochacki J., Gotowski M., Chróścielewski J., Miśkiewicz M., Pyrzowski Ł., Wilde K.*: Montaż Mostu Uniwersyteckiego w Bydgoszczy. „Mosty”, nr 5/2015.
- [4] *Wilde K., Chróścielewski J., Miśkiewicz M., Pyrzowski Ł., Sobczyk B.*: Ekspertyza Techniczna: Wykonanie koreferatu do raportów dotyczących Mostu Uniwersyteckiego w Bydgoszczy wykonanych przez Konsultacyjne Biuro Projektowe Krzysztof Żółtowski.
- [5] *Żółtowski K., Binczyk M., Kalitowski P.*: Pomiary naciągu want Mostu Uniwersyteckiego (most podwieszony M2) wraz z oceną techniczną. Ekspertyza. Kormost. 2020.
- [6] *Żółtowski K., Pełka D., Nowak A.*: Raport techniczny z analizy nośności węzłów zakotwień w pomoście mostu przez rzekę Brdę w ciągu Trasy Uniwersyteckiej w Bydgoszczy. KBP Żółtowski.
- [7] *Żółtowski K.*: Projekt koncepcyjny wzmocnienia węzłów zakotwień w pomoście mostu przez rzekę Brdę w ciągu Trasy Uniwersyteckiej w Bydgoszczy. KBP Żółtowski. 2021.

Materiały wykorzystane w pracy:

- [8] Materiały źródłowe dotyczące problematyki wyłączenia mostu z eksploatacji. <http://www.zdmikp.bydgoszcz.pl/pl/component/search/?searchword=raport%20most&ordering=newest&searchphrase=all&limit=50>
- [9] Projekt Wykonawczy – Budowa ul. Ogińskiego w Bydgoszczy na odcinku od ul. Powstańców Wielkopolskich do ul. Wojska Polskiego wraz z obiektami inżynierskimi i dojazdami – Most Nurtowy Podwieszony M-2 – Transprojekt Gdański Sp. z o. o.
- [10] Raport ze stwierdzonej niezgodności podczas przeprowadzonych badań zakotwień want. KORMOST. 2020.
- [11] Sprawozdanie z badań nr 01/2021. Badanie wytrzymałościowe próbek pobranych z konstrukcji stalowej. Laboratorium Badań Materiałowych i Konstrukcji. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy. Bydgoszcz, 2021.