

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Diagnostyka konstrukcji inżynierskich wspierana zaawansowanymi symulacjami MES

Mikołaj Miśkiewicz¹

¹Katedra Wytrzymałości Materiałów, Politechnika Gdańska
email: mikołaj.miskiewicz@pg.edu.pl

STRESZCZENIE: Referat stanowi przegląd wybranych aplikacji MES w indywidualnych, autorskich programach diagnostycznych. Konsystentna metodyka realizacji prac dotycząca zastosowanych technologii pomiarowych oraz stworzenie reprezentatywnych modeli obliczeniowych na różnych poziomach dokładności umożliwiło ocenę przyczyn zachowania się analizowanych konstrukcji, poziomu wyężenia i stanu bezpieczeństwa. Obliczenia w zależności od potrzeby pozyskania informacji o stanie technicznym konstrukcji, dotyczyły zagadnień statyki, stateczności i dynamiki, zarówno w zakresie liniowym jak i nieliniowym. Nieliniowość aplikowana była w sensie nieliniowości geometrycznej i materiałowej z uwzględnieniem zjawisk reologicznych, plastyczności, rozwoju zarysowań, ukierunkowane na newralgiczne strefy konstrukcji ujęte w procedurach diagnostycznych, jak również aspektów technicznych realizacji efektów sprężania i procedur regulacji ścięgowych/membranowych układów podwieszających.

SŁOWA KLUCZOWE: MES, diagnostyka, NDT, konstrukcje inżynierskie

1. Wstęp

Diagnostyka konstrukcji inżynierskich to obszar badawczy, który w ostatnim okresie rozwija się bardzo intensywnie i jest uprawiany w wielu ośrodkach naukowych krajowych i zagranicznych. Powodem wzrostu zainteresowania środowiska naukowego jest relatywnie duża liczba poważnych awarii istniejących i wznoszonych konstrukcji; zaawansowany wiek eksploatowanej infrastruktury technicznej oraz współczesne trendy w projektowaniu i tworzeniu nowoczesnych obiektów o coraz śmielszych formach geometrycznych z ekstremalnym wykorzystaniem parametrów wytrzymałościowych w tym mniej rozpoznanych materiałów i ich niestandardowych rozwiązaniach technicznych. W znacznej większości typowych obiektów inżynierskich wystarczającymi narzędziami diagnostycznymi są stosowane od lat i dobrze rozpoznane standardowe metody pomiarowe oraz klasyczne liniowe analizy obliczeniowe. Tym niemniej, w przypadku niektórych konstrukcji, do właściwej oceny poprawności ich pracy, niezbędne jest zastosowanie unikalnych metod pomiarowych lub niestandardowych, zaawansowanych nieliniowych modeli numerycznych i złożonych, wielopoziomowych technik prowadzenia obliczeń.

2. Wiadukt drogowy poddany uderzeniu pojazdu pod nim przejeżdżającego

Pierwszy z przykładów dotyczy wiaduktu WD-113 w ciągu drogi ekspresowej S6 na obwodnicy Koszalina i Sianowa, w który dwukrotnie podczas budowy uderzył przejeżdżający pod nim pojazd (rys. 1). Podczas pierwszego uderzenia znacznemu uszkodzeniu uległ skrajny, zewnętrzny dźwigar wiaduktu (rys. 2). Drugie

uderzenie spowodowało uszkodzenie spódów wewnętrznych dźwigarów strunobetonowych.



Rys. 1. Wiadukt drogowy WD 113

Ogólnym celem analizy było wirtualne odtworzenie ewolucji stanu wyężenia i zakresu uszkodzeń wiaduktu generowanego uderzeniem [1]. Ze szczególnym zainteresowaniem analizowano stan wyężenia i zerwanie ścięgien sprężających, do których nie było dostępu z wykorzystaniem diagnostyki nieniszczącej. Analizy wykonywano w programie Ls-Dyna.



Rys. 2. Porównanie uszkodzeń z inwentaryzowanych na obiekcie z wynikiem symulacji MES

Inwentaryzacja uszkodzeń wiaduktu, skanowanie laserowe oraz symulacje numeryczne wykazały, że ścięgna sprężające nie uległy uszkodzeniu w wyniku uderzenia pojazdu i obiekt można użytkować zgodnie z założeniami.

3. Kładka dla pieszych w Ustce

W lipcu 2015 roku zaobserwowano niepokojące zachowanie obiektu (rys. 3) związane z nadmiernymi drganiami cięgien podwieszających pomost i towarzyszące temu efekty akustyczne. Wstępna analiza geotechniczna wskazała na destrukcyjny wpływ prowadzonych obok robót budowlanych, związanych z realizacją bezpośrednio sąsiadujących inwestycji, tj. budowy basenu rybackiego i ciągów komunikacyjnych, na posadowienie fundamentów odciągów kładki. Roboty generujące drgania podłoża mogły bezpośrednio wpłynąć na osłabienie ich nośności i zwiększenie podatności pali na wyciąganie [2].



Rys. 3. Obrotowa kładka dla pieszych nad kanałem portowym w Ustce – rzeczywistość i model MES

Na podstawie danych z monitoringu oraz wyników pomiaru sił w cięgnach, przeprowadzono szereg symulacji numerycznych w formalizmie MES z wykorzystaniem programu SOFiSTiK. Analizowano konstrukcję w stanie określonym jako awaryjny. Sprawdzone ekstremalne wyężenie elementów kładki oraz jej charakterystyki dynamiczne. Jako przyczynę niepokojącego zachowania obiektu w trakcie eksploatacji wskazano pojawienie się zjawiska rezonansu wewnętrznego w zakresie wartości około 1 Hz, w którym częstotliwości globalnych drgań własnych konstrukcji sprzęgały się z lokalnymi drganiami cięgien podwieszających. Stan ten został wywołany naruszeniem stabilności odciągów pylonu.

4. Most Uniwersytecki w Bydgoszczy

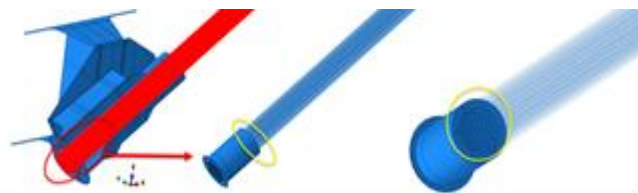
Most Uniwersytecki jest konstrukcją podwieszoną typu jednopylonowego zlokalizowaną w ciągu ul. Ogińskiego nad rzeką Brdą w Bydgoszczy (rys. 4). Konstrukcja składa się z dwóch części, które oddziela od siebie oś poprzeczna pylonu, tj. nurtowej o rozpiętości 110 m i zalewowej o rozpiętości 90 m.



Rys. 4. Most Uniwersytecki w Bydgoszczy

W połowie 2020 roku w środowisku mostowym pojawiła się niepokojąca informacja o wykryciu trwałych

deformacji blach węzłowych detali zakotwienia systemu podwieszenia w pomoście. W konsekwencji zarządca obiektu zdecydował o jego zamknięciu dla ruchu na początku roku 2021.



Rys. 5. Wizualizacja detalu zakotwienia lin w pomoście

Obliczenia prowadzono na dwóch poziomach szczegółowości globalnym (SOFiSTiK) oraz lokalnym (ABAQUS). Zwalidowane szczegółowe modele MES (rys. 5) umożliwiły osiągnięcie wysokiego poziomu zgodności pomiędzy wynikami obliczeń, a rzeczywistymi wielkościami deformacji pomierzonymi in-situ. Daje to podstawę do określenia rzeczywistego stanu wyężenia zakotwień i tym samym oceny bezpieczeństwa całego mostu. Stwierdzono, że zakotwienia dolne doznały trwałych odkształceń najprawdopodobniej w trakcie budowy podczas podwieszania przęsła i powiększyły się w trakcie obciążeń próbnych [3]. Wykonane analizy pokazują jednak, że konstrukcja nie osiągnęła jeszcze swojej nośności granicznej i dlatego nie uległa awarii. Zatem wymagała ona niezwłocznej naprawy, ale jej całkowite wyłączenie z eksploatacji zostało kwestionowane.

5. Podsumowanie

Coraz większe znaczenie przykładu się do weryfikacji poprawności zachowania się konstrukcji w rzeczywistym otoczeniu jej pracy, poddanej rzeczywistym oddziaływaniom środowiskowym i eksploatacyjnym. Naukowcy i inżynierowie dążą do pogłębienia nie tylko teoretycznej, ale i empirycznej wiedzy o zachowaniu się obiektów, która decyduje o ich bezpiecznej, prawidłowej pracy i trwałości, a także możliwości recyklingu w kontekście zrównoważonego rozwoju. Jak wskazują przedstawione przykłady dopiero diagnostyka konstrukcji inżynierskich wspierana zaawansowanymi symulacjami MES umożliwiła wnioskowanie dot. rzeczywistego stanu konstrukcji.

Autor kieruje serdeczne podziękowania wszystkim członkom zespołów badawczych, które brały udział w realizacji przedstawionych badań.

Literatura

- [1] Miśkiewicz M., Bruski D., Chróścielewski J., Wilde K.: Safety assessment of a concrete viaduct damaged by vehicle impact and an evaluation of the repair. *Engineering Failure Analysis*. 106, 2019. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.104147.
- [2] Pyrzowski Ł., Miśkiewicz M., Chróścielewski J.: The effect of fishing basin construction on the behavior of a footbridge over the port channel. *Polish Maritime Research*. Vol. 24, nr. S1(93), pp.182-187, 2017. DOI:10.1515/pomr-2017-0037.
- [3] Wilde K., Chróścielewski J., Miśkiewicz M., Pyrzowski Ł., Sobczyk B.: Most Uniwersytecki w Bydgoszczy – zaawansowane studium stref zakotwienia systemu podwieszenia w pomoście. *Materiały Seminarium Naukowo-Technicznego Wrocławskie Dni Mostowe*, Wrocław, 25-26 listopada 2021. Wrocław 2021, s. 85-95.