

Wpływ wzmocnienia betonem UHPC konstrukcji podwieszonoego mostu stalowego na jego odpowiedź dynamiczną wywołaną ruchem drogowym

Streszczenie

Rozprawa skupiona jest wokół oceny wpływu wzmocnienia konstrukcji podwieszonoego mostu stalowego przez rzekę Ren w miejscowości Karlsruhe-Maxau na jego odpowiedź dynamiczną wywołaną ruchem drogowym na podstawie porównania najważniejszych parametrów opisujących zachowanie dynamiczne przęseł mostu w dwóch stanach, tj początkowym (przed wzmocnieniem) i po wzmocnieniu mostu betonem UHPC. Przedmiotowy most składa się z 2 przęseł o łącznej długości 292 m, którymi prowadzona jest 6-pasowa autostrada.

W pierwszej kolejności przedstawiono podstawowe informacje związane ze wzmocnianiem mostów, kładąc główny nacisk na naprawy mostów z zastosowaniem betonu UHPC. Przytoczono kilka przykładów obiektów mostowych wzmocnionych taką samą technologią, jaką został wzmocniony przedmiotowy most w Maxau. Następnie omówiono zagadnienie wzbudzania drgań obiektów mostowych, a także metody pomiaru tych drgań. Analizowano także wpływ warunków atmosferycznych i eksploatacyjnych na zachowanie dynamiczne obiektów mostowych wzbudzanych ruchem drogowym w świetle doświadczeń naukowców na podstawie ogólnodostępnej literatury polskiej i światowej.

Kolejna część rozprawy przedstawia opis badanego obiektu mostowego. Podano tu rys historyczny, szczegółowo opisano parametry techniczne i użytkowe ustroju konstrukcyjnego, a także przebieg procesu wzmocnienia analizowanego mostu. Ponadto w rozprawie omówiono procedurę wykonanych pomiarów przyspieszeń drgań elementów obiektu za pomocą czujników typu MEMS. Zaprezentowano zastosowany zestaw pomiarowy i opisano najważniejsze założenia metodologii badawczej, a także przedstawiono warunki atmosferyczne i eksploatacyjne występujące podczas sesji pomiarowych. Zarejestrowane drgania mostu wymuszone ruchem drogowym sklasyfikowano jako stochastyczny proces stacjonarny w oparciu o parametr kurtozy.

W kolejnej części pracy omówiono kompleksową analizę odpowiedzi dynamicznej i określenie parametrów modalnych mostu Rheinbrücke Maxau na podstawie danych eksperymentalnych w zakresie przyspieszeń drgań najważniejszych elementów konstrukcji, rozpatrując kolejno przęsła mostu, pylon, ciągnia i ciąg pieszo-rowerowy. Wyznaczono tu maksymalne przyspieszenia drgań i przemieszczenia dynamiczne, odchylenia standardowe tych wielkości, a także charakterystyki dynamiczne, tj. częstotliwości drgań własnych, odpowiadające im postaci drgań własnych i wartości liczby tłumienia drgań konstrukcji mostu. Wymienione parametry analizowano w ujęciu statystycznym dla stanu mostu przed (w 2016r.) i po (w 2022r.) jego wzmocnieniu. Analizę spektralną drgań wymuszonych przeprowadzono z zastosowaniem metody wartości szczytowych, a eksperymentalną analizę modalną z zastosowaniem metody dekompozycji w dziedzinie częstotliwości i metody losowego dekrementu. W roku 2016 możliwa była identyfikacja 11 postaci drgań własnych, a w roku 2022 zidentyfikowano 12 form drgań własnych analizowanego układu most-pojazdy. Określono komfort użytkowania chodnika przez pieszych w świetle wybranych norm i wytycznych różnych krajów na świecie.

Kluczowym etapem rozprawy była ocena efektywności wzmocnienia mostu betonem UHPC, w ramach której porównano wartości wyznaczonych charakterystyk dynamicznych mostu w stanie wyjściowym i po wzmocnieniu. Przykładowo, w odniesieniu do wartości częstotliwości drgań własnych układu stwierdzono różnice do 6%, przy czym częstotliwość drgań podstawowych w wyniku wzmocnienia mostu zmniejszyła się z wartości 0,520 Hz do 0,511 Hz. Pewnej zmianie uległy także postaci drgań własnych i liczba tłumienia drgań. Przedstawiono uproszczoną propozycję oceny zmiany sztywności przęseł mostu w wyniku wzmocnienia z uwzględnieniem zmiany ich masy formułując wniosek, że sztywność przęseł mostu wzrosła o ok. 5%.

The influence of UHPC strengthening of the suspended steel bridge structure on its dynamic response caused by road traffic

Summary

The dissertation is focused on the assessment of the impact of the strengthening process of the suspended steel bridge structure over the Rhine River in Karlsruhe-Maxau on its dynamic response caused by road traffic, based on a comparison of the most significant parameters describing the dynamic behavior of the bridge spans in two states, i.e. initial (before strengthening) and after strengthening of the bridge by UHPC. The bridge consists of 2 spans with a total length of 292 m, on which a 6-lane highway is located.

First, basic information related to bridge strengthening was presented, with main emphasis on bridge repairs using UHPC concrete. Several examples of bridge structures reinforced with the same technology as the bridge in Maxau were cited. Then, the vibration excitation of the bridge structures and the methods of measuring these vibrations were described. The dissertation also includes the analysis of the atmospheric and operational conditions on the dynamic behavior of the bridge structures, excited by road traffic in the light of scientists' experiences, based on generally available Polish and world literature.

The next part of the dissertation presents a description of the object of interest. The fragment cites a historical outline, a detailed description of both technical and operational parameters of the structural system, as well as the course of the strengthening process of the analyzed bridge. Moreover, it discusses the procedure for measuring vibration accelerations of the object elements using MEMS sensors. The used measurement set was presented, and the most important assumptions of the research methodology were described, as well as the atmospheric and operational conditions occurring during the measurement sessions. The recorded bridge vibrations forced by road traffic were classified as a stochastic stationary process based on the kurtosis parameter.

The next part of the work discusses a comprehensive analysis of the dynamic response and the determination of modal parameters of the Rheinbrücke Maxau Bridge based on experimental data of vibration accelerations of the most crucial structure elements, considering the bridge spans, pylon, cables and pedestrian and bicycle path. The maximum vibration accelerations and dynamic displacements, along with the standard deviations of these quantities, were determined, as well as the dynamic characteristics, i.e. natural frequencies, the corresponding modes shapes of natural vibrations and the values of the damping ratio of the bridge structure. The mentioned parameters were analyzed statistically for the condition of the bridge before (in 2016) and after (in 2022) the strengthening process. The spectral analysis of forced vibrations was carried out using the Peak-Picking Method, whereas the experimental modal analysis was carried out using the Frequency Domain Decomposition Method and the Random Decrement Method. In 2016, 11 mode shapes of natural vibrations were identified, and in 2022, 12 mode shapes of natural vibrations of the analyzed bridge-vehicle interaction. The vibration comfort criteria of the sidewalk due to pedestrians were established in light of selected standards and guidelines from various countries worldwide.

The critical stage of the dissertation was the assessment of the effectiveness of strengthening the bridge with UHPC, in which the values of the determined dynamic characteristics of the bridge were compared in the initial state and after strengthening. For example, in relation to the value of the natural frequency of the object, differences of up to 6% were noticed, while the frequency of the fundamental vibrations decreased from 0.520 Hz to 0.511 Hz as a result of strengthening the bridge. The modal shapes of natural vibrations and the vibration damping ratio also changed. A simplified proposal for assessing the change in stiffness of bridge spans as a result of strengthening was presented, taking into account the change in their mass, concluding that the stiffness of bridge spans increased by approximately 5%.