

**Streszczenie rozprawy w języku polskim:** Przedmiotem rozprawy są rozwiązania konstrukcji podpór pośrednich wiaduktów obwodnicy Stambułu (Northern Marmara Highway) w kontekście oddziaływań sejsmicznych. Koncepcja strukturalnego kształtowania podpór pośrednich wiaduktów ma celu zaprojektowanie podpór, które zgodnie z turecką normą TURKISH DLH 2008 muszą spełnić wymogi projektowe dla trzech obliczeniowych poziomów intensywności trzęsienia ziemi (D1, D2, D3).

Zgodnie z wymogami obiekt poddany działaniu obciążeń sejsmicznych z poziomu D1, który odpowiada zdarzeniu o okresie powrotu 72 lat (prawdopodobieństwo pojawienia się wynosi 50% w ciągu 50 lat), nie ulegnie żadnym uszkodzeniom. Przy oddziaływaniu poziomu D2 o okresie powrotu 457 lat (prawdopodobieństwo pojawienia się wynosi 10% w ciągu 50 lat), wiadukt zostanie uszkodzony, ale zniszczenia nastąpią w kontrolowanych miejscach i będą mogły być naprawione w okresie paru miesięcy przy niewielkich ograniczeniach ruchu kołowego. Natomiast dla poziomu D3 o okresie powrotu 2475 lat (prawdopodobieństwo pojawienia się wynosi 2% w ciągu 50 lat), kontrolowane zniszczenie podpór pośrednich ma nastąpić w górnej części podpór poprzez utworzenie się przegubów plastycznych - pomost nie powinien spaść z oczepu. W celu spełnienia powyższych założeń zaproponowana została koncepcja konstrukcji podpór pośrednich o zmiennej geometrii i sztywności, która zakłada, że każda podpora składa się z dwóch części - sztywnej (dolnej) oraz wiotkiej (górnej).

Analizowany model podpór o zmiennej geometrii i sztywności został wdrożony do obliczeń w postaci równań matematycznych w programie Matlab w oparciu o metodę różnic centralnych. Po poprawnej kalibracji nastąpiła transformacja modelu matematycznego, poprawnego obliczeniowo w model fizyczny, który rzetelnie i efektywnie obrazował pracę dynamiczną konstrukcji podpór. Prawidłowa kalibracja umożliwiła wykorzystanie modelu podpory do symulacji numerycznych w programie Sofistik, w którym przeprowadzono analizę dynamiczną wiaduktów V17 od wymuszenia trzęsieniem ziemi Kocaeli z poziomu D1, D2 i D3. Na podstawie tej analizy wyznaczono maksymalne wychylenia podpory w miejscach powstania planowanych przegubów plastycznych. W dalszej analizie został użyty model plastyczno-degradacyjny betonu ze zbrojeniem według założeń Lubliner (Abaqus) oraz Grassia (LS-DYNA). Celem tego zastosowania było zaprojektowanie miejsc powstania przegubów plastycznych w oparciu o obliczone wychylenia podpory w programie Sofistik. Dodatkowym utrudnieniem podczas tych obliczeń był materiał jakim jest beton, który tylko w niewielkim obszarze swojej pracy pod wpływem działającego obciążenia zachowuje się liniowo, a w znacznej części jego praca jest nieliniowa. W związku z tym została przeprowadzona walidacja modelu plastyczno-degradacyjnego betonu w oparciu o badania doświadczalne, a następnie jego implementacja w programie Abaqus. Następnie dokonano weryfikacji zwalidowanego modelu plastyczno-degradacyjnego betonu w programie LS-DYNA jako przyczynę do dalszych zaawansowanych obliczeń parametrycznych. Określono dokładne parametry geometryczne przegubów plastycznych uwzględniając degradację betonu, ich zdolność do przemieszczania oraz zdolność do ciągliwości wykorzystując założenia koncepcji ciągliwości Ductility Demand-Capacity w aspekcie wymogów sejsmicznych trzech poziomów intensywności D1, D2 i D3. Na zakończenie przeprowadzono zaawansowane badania parametryczne obrazujące predykcję zniszczeń całego (dokładnego) modelu wiaduktów V17 z uwzględnieniem wszystkich podpór pośrednich wykonanych w oparciu o model plastyczno-degradacyjny betonu ze zbrojeniem, a także z uwzględnieniem konstrukcji sprężonej pomostu opartego na łożyskach elastomerowych, który został poddany analizie wykorzystującej zjawiska szybkozmienne w postaci wymuszenia trzęsieniem ziemi Kocaeli z poziomu D1, D2, D3. Predykcję zniszczeń podpór pośrednich wiaduktów przeprowadzono dla trzech wariantów kształtowania zbrojenia w strefie przejściowej. Wariant I - kształtowanie zbrojenia według założenia koncepcji ciągliwości Ductility Demand-Capacity (CALTRANS). Wariant II - kształtowanie zbrojenia według projektu docelowego (konstrukcyjno-wykonawczego) wiaduktów V17. Wariant III - kształtowanie zbrojenia według zaleceń autora pracy.

Uzyskane wyniki pozwolą zapobiec awariom oraz zniszczeniom konstrukcji podpór wiaduktów, a tym samym zapewnić bezpieczeństwo dla wszystkich użytkowników korzystających z przeznaczenia obiektów. Na podstawie uzyskanych rezultatów dowiedziono, że zaproponowana koncepcja kształtowania podpór pośrednich o zmiennej geometrii i sztywności z uwzględnieniem modelu plastyczno-degradacyjnego betonu w połączeniu ze zbrojeniem, a także w oparciu o koncepcję powstania przegubów plastycznych poszerza i wzbogaca problematykę analizy konstrukcji mostowych narażonych na oddziaływania trzęsieniem ziemi.

**Streszczenie rozprawy w języku angielskim:** The subject of the dissertation is the design of intermediate supports' structures of the Istanbul's ring road (Northern Marmara Highway) in the context of seismic impacts. The concept of the ring road's intermediate supports' structural design aims at constructing the supports that according to the TURKISH DLH 2008 standard must comply with the design requirements for the three calculated earthquake insensitivity levels (D1, D2, D3).

According to the requirements, an object subject to the D1 level seismic loads that corresponds to the return period of 72 years (the probability of occurrence equals 50% within 50 years), will not be damaged. In case of a D2 level interaction with the return period of 457 years (the appearance probability equals 10% within 50 years) the viaduct will be damaged, yet the damages will take place at controlled locations and will be repaired within a few months with a little traffic limitation. In case of a D3 level with a return period of 2475 years (the appearance probability equals 2% within 50 years), whereas, the controlled intermediate supports' damage is supposed to appear in the upper supports' part through the emergence of plastic hinges - the platform shall not fall from the pile cap. In order to meet the above assumptions, the concept of intermediate supports structures with a variable geometry and stiffness was proposed. It assumes that each support consists of two parts - a rigid (lower) and a flaccid (upper).

The analyzed model of supports with the variable geometry and stiffness was implemented for calculations in the form of mathematical equations in Matlab software, based on the central difference method. After a proper calibration, the computationally correct mathematical model was transformed into a physical model that accurately and effectively illustrated the dynamic work of the support structures. The correct calibration enabled the use of the support model for the numerical simulators in the Sofistik software, in which the dynamic V17 viaduct analysis from the Kocaeli D1, D2, and D3 earthquake input was performed. Based on this analysis, the maximum support bias is determined at the locations of the planned plastic hinges. In the further analysis, a plastic-damage model of the reinforced concrete according to the assumptions of Lubliner (Abaqus) and Grassl (LS-DYNA) was used. The purpose of this application was to design the locations of the plastic hinges based on the calculated support bias in the Sofistik software. An additional difficulty in these calculations was the concrete as a material, which in a small area of its work under the load influence is acting linearly, whereas on a larger area it acts mostly nonlinear. Therefore, the calibration of the plastic-damage concrete model was based on experimental research, followed by its implementation in Abaqus and LS-DYNA softwares for further calculations. Finally, the precise geometric parameters of the plastic hinges were determined, taking into account the concrete deterioration, their displacement and ductility capacity, using the Ductility Demand-Capacity concept in terms of the seismic requirements for the three intensity levels D1, D2 and D3.

Finally, advanced parametric studies showing the prediction of destruction of the entire (exact) model of the V17 overpass including all intermediate supports made based on the plastic and degradative model of concrete with reinforcement, and taking into account the design of the prestressed bridge based on elastomer bearings, which underwent analysis using fast-changing phenomena in the form of forced earthquake Kocaeli from the levels D1, D2, D3. The prediction of damage to the intermediate supports of the viaduct was carried out for three variants of shaping the reinforcement in the transition zone. Variant I - shaping reinforcement according to the concept of Ductility Demand-Capacity (CALTRANS). Variant II - shaping the reinforcement according to the target design (construction and execution) of the V17 viaduct. Variant III - shaping the reinforcement according to the recommendations of the author of the work.

The obtained results will help to prevent failures and viaducts' supports structure damage and thus ensure the safety of all users exploiting the objects. Basing on the collected results it was proved that the proposed concept of intermediate supports with variable geometry and stiffness design including the plastic-damage reinforced concrete model, as well as on the basis of the plastic hinges emergence concept broadens and enriches the issue of the bridge structure exposed to earthquakes analysis.