

Streszczenie

W niniejszej dysertacji podjęto tematykę pracy betonowych, prefabrykowanych belek podsuwnicowych w przedłużonym okresie trwałości, w warunkach niepewności zakotwienia kabli sprężających. Głównym rozważanym zagadnieniem naukowym jest nośność na ścinanie elementów kablobetonowych z niskim stopniem zbrojenia poprzecznego wraz z analizą możliwości przekazania siły z kabla sprężającego w sytuacji utraty jego zakotwienia mechanicznego, np. w wyniku postępującej korozji.

Zrealizowane w ramach pracy studia literaturowe umożliwiły przedstawienie obecnego stanu wiedzy, obejmującego zagadnienia: nośności na ścinanie elementów żelbetowych i sprężonych z niskim stopniem zbrojenia poprzecznego, pracy strefy zakotwień cięgien sprężających oraz dotychczasowych osiągnięć badawczych w zakresie prefabrykowanych elementów kablobetonowych, ich technologii produkcji i adekwatnych technik badawczych.

Program badań eksperymentalnych niniejszej pracy obejmował badania niszczące belek podsuwnicowych, badania długości transmisji siły sprężającej w sytuacji odcięcia zakotwienia kabla oraz badania pomocnicze: pomiar sił sprężających w kablach, określenie wypełnienia kanałów kablowych metodami nieniszczącymi oraz badania parametrów mechanicznych dla próbek materiałów pobranych z elementów badawczych, uzupełnione o wybrane analizy chemiczne materiałów. Badania prowadzono na prefabrykowanych, kablobetonowych belkach podsuwnicowych, zdemonutowanych z rzeczywistej konstrukcji po ponad 50. letnim okresie eksploatacji, zatem po przekroczeniu okresu ich projektowanej trwałości. Zdemonutowane elementy cechowały się niskim stopniem zbrojenia poprzecznego, ponadto zakotwienia kabli sprężających w większości przypadków nie były zabezpieczone antykorozyjnie.

Badania niszczące belek zrealizowano w trzech schematach statycznych, zróżnicowanych smukłością ścinania a/d (różne położenie obciążenia elementu). Belki referencyjne, badane w sytuacji pełnego zakotwienia wszystkich kabli sprężających, służyły jako odniesienie dla badań belek, w sytuacji utraty zakotwień wybranych kabli sprężających.

W ramach badań długości transmisji siły sprężającej analizowano przypadek odcięcia zakotwienia górnego kabla sprężającego oraz odcięcie zakotwień dwóch sąsiadujących dolnych kabli sprężających.

Zakres pracy obejmował również stworzenie autorskiego modelu obliczeniowego MES, który umożliwił przeprowadzenie symulacji numerycznych badań niszczących dla belek podsuwnicowych, w sytuacji utraty zakotwień kabli sprężających.

Na podstawie wyników badań eksperymentalnych model obliczeniowy MES poddano walidacji, wykazując tym samym zadowalającą zgodność odwzorowania numerycznego z wynikami eksperymentu.

Z wykorzystaniem modelu przeprowadzono analizy numeryczne wpływu stopnia zbrojenia poprzecznego na nośność kablobetonowych belek podsuwnicowych oraz wpływu lokalizacji i liczby niesprawnych zakotwień kabli sprężających na nośność modelowanych belek.

Na podstawie analiz wyników zrealizowanych badań eksperymentalnych, symulacji numerycznych oraz obliczeń według wybranych modeli analitycznych w pracy wykazano, że możliwe jest przyczepnościowe przekazanie siły sprężającej z kabla wielodrutowego typu Freyssinet na element, w sytuacji utraty zakotwienia mechanicznego kabla sprężającego. Przeanalizowano sposób pracy kablobetonowych belek podsuwnicowych w zależności od położenia obciążenia zewnętrznego (tj. smukłości ścinania a/d) oraz określono wpływ utraty zakotwień wybranych kabli sprężających na model zniszczenia oraz nośność graniczną

elementów. Ponadto wykazano, że minimalny stopień zbrojenia poprzecznego umożliwia bezpieczną pracę kablobetonowych belek podsuwnicowych, nawet w sytuacji utraty zakotwień wybranych kabli sprężających i nie wpływa znacząco na nośność graniczną belek.

Analizy wykonane w ramach niniejszej pracy zaowocowały stworzeniem analitycznych, inżynierskich modeli obliczeniowych, które umożliwiają analizę: długości transmisji siły sprężającej dla kabla wielodrutowego typu Freyssinet, w sytuacji utraty jego zakotwienia mechanicznego oraz nośności strefy ścinania kablobetonowych belek podsuwnicowych w sytuacji utraty zakotwień wybranych kabli sprężających.

Słowa kluczowe: beton sprężony, ścinanie, długość transmisji, kablobeton, diagnostyka, awaria zakotwienia

Abstract

The doctoral thesis investigates the topic of precast concrete crane beams in an extended period of service, in uncertain conditions of prestressing cable anchorages. The main scientific problems considered are: the shear capacity of post-tensioned concrete elements with a low transverse reinforcement ratio and the analysis of the prestressing force transmission in the situation of the cables' mechanical anchorage failure, e.g. due to progressive corrosion.

The performed literature studies enabled the presentation of the state of the art, covering the following topics: shear capacity of reinforced and prestressed elements with a low transverse reinforcement ratio, behaviour of the anchorage zone of prestressing tendons, as well as previous research achievements in the field of precast post-tensioned concrete elements, the production technology and adequate testing techniques.

The experimental research programme of the thesis consisted of failure tests of crane beams, and an investigation of the transmission length of the prestressing force in the cable anchorage cut-off situation. In addition supplementary tests: measurement of current prestressing forces in cables, determination of the cable ducts' grouting quality by non-destructive methods, testing of mechanical properties for material samples collected from the tested specimens, as well as selected chemical analyses of the materials. The tests were carried out on precast post-tensioned concrete crane girders, dismantled from the existing structure after a service life beyond 50 years, therefore over the designed period of use. The dismantled elements had a low transverse reinforcement ratio. In addition, the anchorages of the prestressing cables were not protected against corrosion in most cases.

Beam failure tests were carried out in three static schemes, varying the shear slenderness ratio a/d (different load location of the element). Reference beams were tested with all prestressing cables fully anchored. Beams tested in the situation of prestressing cables anchorage loss were compared to the reference tests.

Furthermore, the case of cutting off the upper or the two adjacent bottom prestressing cable anchorages was analysed to investigate the transmission length of prestressing force.

The scope of the thesis also included the development of an original FEM numerical model. As a result, numerical simulations of failure tests for crane beams in the situation of loss of the anchorage of prestressing cables were performed and analysed.

Based on the experimental results, the numerical model was validated. Consequently, satisfactory compliance with the numerical representation and the experimental results was achieved. The numerical analyses of the influence of the transverse reinforcement ratio on the shear capacity, as well as the influence of the location and number of failed prestressing cables' anchorages on the load-bearing capacity of modelled beams were performed.

Based on analyses of conducted experimental research results, numerical simulations and calculations of selected analytical models, the following research objectives were achieved:

- transfer of the prestressing force from a Freyssinet-type multistrand cable to the element in the situation of prestressing cables' mechanical anchorages failure is possible;
- position of the external load (a/d shear slenderness) and the loss of anchorage of the selected prestressing cables impact on the operation, failure model and ultimate load capacity of the elements were determined;
- it was proved that the minimum transverse reinforcement ratio assures the safe operation of post-tensioned crane beams and does not affect the ultimate load capacity significantly, even in the situation of the selected prestressing cables anchorages failure.

Moreover, the performed analyses led to the development of analytical, engineering calculation models that enable the analysis of:

- transmission length of the prestressing force for a Freyssinet-type multistrand tendon, in the situation of its mechanical anchorage failure;
- the ultimate shear capacity of post-tensioned crane beams in the situation of selected prestressing cables anchorage failure.

Keywords: prestressed concrete, shear, transmission length, post-tensioned concrete, diagnostics, anchorage failure