

ABSTRACT

The Thesis answers the questions regarding the effectiveness of High Strength Steel application for reinforced concrete. The review of relevant literature reveals growing interest in application of HSS (High Strength Steel) for concrete reinforcement, what calls for verification of code recommendations in order to facilitate its rational application. The Eurocode 2 [43] does not answer any questions in this matter. On the other hand, HSS high yield strength, exceeding by tens of percent parameters of steels currently used, gives potential to reduce the reinforcement ratio, or – according to some authors – to increase the slenderness of elements. It is therefore justified to discuss the reason and extent of limiting the sectional deformation in HSS reinforced concrete members, and possibilities of using and considering in calculations additional factors relating concrete deformability, such as confinement and creep, or using fibre reinforced concrete.

The Thesis covers American reports, constituting annexes of codes, regarding ASTM A1035 steel, as well as selected publications regarding the impact of yield strength of steel on bearing capacity of HSS reinforced concrete elements, considering confinement of concrete, column slenderness and long-term load.

Moreover, there has been presented an preliminary numerical analysis of deformability and load-bearing capacity of a section subjected to bending moment and axial force, reinforced with SAS steel, led in line with Eurocode 2 [43] requirements. It has been referred to the issue of element stiffness under bending and eccentric compression with special attention to the case of reinforcement reduction proportionally to yield strength of considered steel types.

Own HSS experimental studies has been presented. Full strength characteristics of two steel types SAS670/800 and SAS950/1050 has been established. It has been compared with typical St500 steel. Furthermore, geometrical features (relative rib area) of the bars, important due to bond behaviour, have been verified. Strength studies have been carried out on strands of 15,5mm diameter, applied by Author for column passive reinforcement.

The results of two own experimental studies on columns have been presented. The research program has been planned to reveal the impact of transverse reinforcement on deformability and load-bearing capacity of columns subjected to axial compression, reinforced with HSS.

Short columns at circular cross-section (Series I) and rectangular cross-section have been examined. As axial reinforcement, 18mm diameter, SAS670/800 and SAS950/1050 steel bars (Series I) and prestressing steel in form of strands (Series II) have been used. Transverse deformation has been limited thanks to application of steel

reinforcement in form of stirrups or continuous spiral, as well as composite wraps from CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer). Within Series I 10 columns have been examined; within Series II 5 columns. The tests have been carried out in the Laboratory of Department of Concrete Structures at Technical University of Lodz.

In the analytical part, there has been presented an own approach to calculation procedure for concrete members, subjected to normal force and bending moment. The procedure utilizes basically the non-linear method of reinforced member analysis [8], created and developed in Department of Concrete Structures at Technical University of Lodz. However, the procedure has been significantly expanded. It allows for consideration of concrete confinement and creep in terms of load-bearing capacity and deformability of analyzed elements. The proposed calculation procedure has been verified in the basis of results of experiments – own, covering short columns subjected to axial load (chapter 5) and taken from literature. Afterwards, the results of own analysis of SAS steel application for reinforced concrete has been presented. The analysis is multi-aspect – it considers two SAS steel types (SAS650/900 and SAS950/1050) and typical St500 steel, confinement of concrete, slenderness and concrete creep caused by long-term load. The last factor has been assumed at 55% of short-term bearing capacity. The load-bearing capability and deformability in postcritical state constituted the criteria for determining effectiveness.

The observations taken in course of experimental studies and their results, conclusions coming from literature, including presented herein experimental studies, and, most of all, the results of calculation analysis allow for coming to the below mentioned conclusions. It has been declared, that the most crucial factor implying the level of utilization of reinforcing steel strength is the concrete ability to deform due to load. It depends on numerous factors: axial and transverse reinforcement ratio, fibre reinforcement ratio, strength properties of applied materials. The impact of these factors on the bearing capacity of a bar element shall not be differentiated, since they interfere one with each other.

The effectiveness ratio of HSS application for reinforcing concrete can significantly differ, depending on configuration of factors affecting the sectional deformation. It shall be determined computationally in each case, considering actual material as well as structural conditions of the element.

Badaniom poddano słupy krępe o przekroju kołowym (Seria I) oraz prostokątnym (Seria II). Jako zbrojenie podłużne zastosowano pręty średnicy 18mm ze stali SAS670/800 i SAS950/1050 (Seria I) oraz stal sprężającą w postaci splotów (Seria II). Ograniczenie poprzecznych odkształceń betonu uzyskano dzięki zastosowaniu stalowych strzemion lub uzwojenia, a także obwodowego zbrojenia kompozytowego z maty CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer). W Serii I zbadano 10 słupów, a w Serii II 5 słupów. Badania przeprowadzono w Laboratorium Badawczym Katedry Budownictwa Betonowego PŁ.

W części obliczeniowej przedstawiono własną propozycję procedury obliczenia żelbetowych elementów prętowych, obciążonych siłą normalną i momentem zginającym. Procedura bazuje na nieliniowej metodzie analizy żelbetowych elementów prętowych [8], opracowanej i rozwijanej w Katedrze Budownictwa Betonowego PŁ, znacznie ją jednak poszerza. Stwarza możliwość uwzględniania skrępowania betonu i pełzania betonu w aspekcie nośności i odkształcalności analizowanych elementów. Proponowana procedura obliczeniowa została zweryfikowana na podstawie wyników badań doświadczalnych – własnych, obejmujących krępe słupy ściskane osiowo (rozdział 5), oraz zaczerpniętych z literatury. Następnie zaprezentowano wyniki własnej analizy efektów zbrojenia stalą SAS elementów prętowych z betonu. Jest to analiza wieloaspektowa – uwzględniono w niej dwa gatunki stali SAS (SAS650/900 i SAS950/1050) oraz typową stal St500, skrępowanie betonu, smukłość elementu i pełzanie betonu, spowodowane długotrwałym obciążeniem. To ostatnie przyjęto na poziomie 55% nośności doraźnej. Kryterium efektywności rozwiązania była nośność i zdolność do odkształceń w stanie pokrytycznym.

Obserwacje dokonane w toku doświadczalnych badań i ich wyniki, wnioski wynikające z literatury, w tym prezentowanych w niej badań doświadczalnych, a przede wszystkim wyniki analiz obliczeniowych upoważniają do sformułowania niżej wymienionych wniosków. Stwierdzono, że najważniejszym czynnikiem wpływającym na stopień wykorzystania potencjalnej wytrzymałości stali zbrojeniowej jest zdolność betonu do odkształcania się pod obciążeniem. Zależy ona od wielu czynników: stopnia zbrojenia poprzecznego i podłużnego, stopnia zbrojenia rozproszonego, wytrzymałościowych cech stosowanych materiałów. Wpływu tych czynników na nośność elementu prętowego nie można rozdzielać, tym bardziej, że oddziałują one wzajemnie na siebie.

Stopień efektywności stali o podwyższonej wytrzymałości zastosowanej jako zbrojenie może być bardzo różny w zależności od konfiguracji czynników wpływających na odkształcenia przekroju. Należy go każdorazowo ustalać obliczeniowo, uwzględniając rzeczywiste warunki materiałowe i konstrukcyjne elementu.