



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TEEDEINSTITUUT

SILLAMUDELI ARENDUS RAHVUSVAHELISEKS TERASSILDADE
VÕISTLUSEKS DECO 2015

DEVELOPMENT OF MODEL FOR THE INTERNATIONAL STEEL BRIDGE
COMPETITION DECO 2015

ETS60LT

Koostaja: Robert Oppar

Juhendaja: Prof. Siim Idnurm

Tallinn 2015

8 Kokkuvõte

Lõputöö koostamisel oli kolm eesmärki. Esimeseks eesmärgiks oli anda ülevaade, kuidas toimub sillamudeli arendus DECO 2015 terassildade võistluseks. Edukas osalemine nimetatud võistlusel oli töö teiseks eesmärgiks ning kolmandana sooviti teada saada arvutusliku ja reaalse mudeli koormamisel tekkiva vertikaalse siirde erinevust.

DECO 2015 võistluseks konkurentsivõimelise sillamudeli loomiseks uuriti DECO 2014 tulemusi ning hinnati neid nii 2014. aastal kasutatud hindamissüsteemi kui ka uuenenud 2015. aasta hindamissüsteemi alusel. Jõuti järeldusele, et DECO 2015 võistlusel hea tulemuse saavutamiseks on oluline tagada, et silde keskel mõõdetav sillamudeli peakandurite vertikaalne läbivajumine jääks konstruktsiooni võimalikult väikese omakaalu juures alla 5 millimeetri piiri. Samas sõltub võistkonna poolt saavutatud lõpptulemus lisaks ka sillamudeli horisontaalsest siirdest, esteetilisest väljanägemisest, unikaalsusest, võistluse reeglitele vastavusest ja sillamudeli montaaži kiirusest.

Töös toimus kahe sillamudeli varrasskeemide arendus. Mõlema mudeli puhul võrreldi uuenenud varrasskeemi siirdeid ja omakaalu, mida arvutati lõplike elementide meetodil põhineva arvutuspaketi Staad Pro V8i abil. Nimetatud programmi abil toimus mõlema mudeli arvutuslik vertikaalne- ja horisontaalne koormamine. Sillamudelite elemendid jagati kaheks suuremaks osaks – kandvateks ja siduvateks elementideks, millele sobiva ristlõike valikul arvestati konstruktsiooni arvutuslikke siirdeid, konstruktsiooni omakaalu ning elementides lubatavate pingete väärtusi. I mudelil kasutati kandvate ja siduvate elementide ristlõigetena vastavalt 44,5 x 1,5 ja 16,0 x 1,0 millimeetrit toruprofiili. II mudelil kasutati samade elementide ristlõigetena vastavalt 40,0 x 1,5 ja 19,0 x 1,0 millimeetrit toruprofiili. Selliste ristlõigete kasutamisel oli I mudeli arvutuslik vertikaalne siire 1,312 millimeetrit ja II mudeli arvutuslik vertikaalne siire ainult 0,005 millimeetrit suurem. Samas oli II mudeli arvutuslik omakaal seejuures üle 10 kilogrammi võrra väiksem. Silla elementide arvu põhjal hinnati mõlema mudeli võimalikku monteerimise efektiivsust. Kaasüliõpilaste seas läbi viidud küsitluse alusel saadi info võimaliku tulemuse kohta esteetika ja unikaalsuse kategoorias. Eelnevate kategooriate summaarsel võrdlemisel otsustati DECO 2015 võistlusel osaleda teise sillamudeliga. Otsuse peamiseks põhjuseks oli teise sillamudeli 10 kilogrammi võrra väiksem omakaal.

Mudeli arvutuslikul koormamisel tekkivate sisejõudude alusel konstrueeriti elementide ühendamisel tekkivate sõlmede lahendused. Ühendustes kasutatava poltliite parameetrid valiti nii, et poldi löikekandevõime ja poldiaugu serva muljumiskandevõime oleksid tagatud. Muud ühenduste parameetrid määrati konstruktiivselt.

DECO 2015 võistluse eel harjutati korduvalt silla montaaži. Saavutatud parim aeg sillaelementide kokkupanekul oli natuke üle 20 minuti. Samuti toimus eelnev reaalne vertikaalne proovikoormamine, kus alla millimeetrise tugede siirdumise juures oli peakandurite vertikaalne siire 3,4 ja 4,8 millimeetrit. Keskmise vertikaalne läbivajumine oli 4,1 millimeetrit, mis täitis eesmärgi saavutada vertikaalne siire alla 5 millimeetri. Samas oli tulemus üle kolme korra suurem kui arvutuslikul koormamisel. Võimalikeks arvutusliku ja reaalse vertikaalse siirde erinevuse põhjusteks on tugede nihkumine, ühendustes olevad lõtkud ja sillamudeli tootmisel tekkinud hälbed.

Türgis toimunud DECO 2015 võistlusel mõõdeti silla omakaaluks 74,3 kilogrammi, vertikaalseks siirdeks 13,34 ja horisontaalseks siirdeks 0,34 millimeetrit. Esteetika ja unikaalsuse kategoorias saavutati 69,7 punkti 100st. Monteerimise käigus rikutud reeglite tõttu, liideti võistluse käigus kulunud ajale trahviminutid ning lõplik montaaži aeg oli üle 37 minuti. Võistlusel mõõdetud vertikaalne siire oli üle 3 korra suurem kui proovikoormamisel ning 10 korda suurem kui arvutuslikul koormamisel saadud vertikaalne siire. Võistluskoormamisel ja proovikoormamisel mõõdetud vertikaalse siirde erinevuse üheks võimalikuks põhjuseks oli korraldajate poolt jalgade kinnitamise kohta antud parameetrite ja tegeliku olukorra mittevastavus.

DECO 2015 võistluse järel teostati II vertikaalne proovikoormamine, mille käigus oli sillamudeli peakandurite vertikaalsete siirete keskmine tulemus 4,35 millimeetrit. Seejärel asetati sillale ka üle 20% suurem koormus ning siis mõõdeti peakandurite keskmiseks vertikaalseks siirdeks 5,65 millimeetrit.

DECO 2015 võistlusel saavutati 7. Koht, millega käesoleva töö autor pole rahul. TTÜ laboratooriumis saadud proovikoormamiste ja -monteerimiste tulemustega oleks antud sillamudel saavutanud DECO 2015 võistlusel esikolmiku koha.

9 Summary

DEVELOPMENT OF MODEL FOR THE INTERNATIONAL STEEL BRIDGE COMPETITION DECO 2015

Robert Oppar

There were three aims of the thesis. First, to give an overview how a bridge model for the International steel bridge competition DECO 2015 is developed. Second aim was to successfully participate in the DECO 2015 competition and third, to study the difference of vertical displacement between loading the computed model and loading the actual model.

To create a competitive bridge model for DECO 2015, the results of DECO 2014 were analysed and assessed pursuant to Evaluation Rules of 2014 and 2015. A conclusion can be drawn that in order to achieve a high result in DECO 2015, the vertical displacement of the bridge model of optimum tare weight should be less than 5 millimetres. In addition the final result also depends on horizontal displacement of the bridge model, aesthetics, uniqueness, compliance to the competition rules and the speed of assembly of the bridge model.

The structures of elements of two bridge models were developed in this thesis. The displacements and tare weights of both bridge models were compared and assessed by the software Staad Pro V8i using the finite element method. By using the aforementioned program the calculated vertical and horizontal loading of each bridge model was carried out. The elements of both bridge models were divided into load carrying and binding elements. The calculated displacements of the construction, tare weight of the bridge model and the maximum tension allowed in the elements were considered when choosing cross-sections for load carrying and binding elements of each model. The cross-sections of load carrying and binding elements were 44.5 x 1.5 and 16.0 x 1.0 millimetres with regard to the first model and 40.0 x 1.5 and 19.0 x 1.0 millimetres with regard to the second model. Using these cross-sections the calculated vertical displacement of the first bridge model was 1.312 millimetres, which was only 0.005 millimetres less than the calculated vertical displacement of the second bridge model. At the same time, the tare weight of the second bridge model was 10 kilograms less than the first model's tare weight. The number of the elements of the bridge model was taken into consideration to assess the effectiveness of the assembly of each bridge model. A survey was conducted among co-students to

gather information on approximate results in the aesthetics and uniqueness categories. By comparing the aforementioned categories it was decided to participate in DECO 2015 with the second bridge model. The main reason for such decision was the tare weight of the second bridge model that was lighter by 10 kilograms.

The tensions and the shear forces that arise during the calculated loading tests of the bridge model were taken into consideration during the construction process of connections. The parameters of bolt joints used in the connections were chosen in the way that the requirements for shear and bearing resistance of bolt joints were fulfilled. Additional parameters were chosen constructively.

The assembly of the bridge model was repeatedly practised before DECO 2015 took place. The quickest assembly of the bridge elements was around 20 minutes. The vertical displacements of the girders during the actual vertical test loading of the bridge model were 3.4 and 4.8 millimetres. The average vertical displacement was 4.1 millimetres, which led to the fulfilment of the goal to achieve the vertical displacement remained under 5 millimetres. However, the result was over three times higher than at the calculated vertical displacement. The possible reasons for the difference between calculated and actual vertical displacements are the displacement of the supports, clearance for connections and production tolerance of the bridge model.

During the DECO 2015 competition the measured tare weight of the bridge model was 74.3 kilograms, vertical displacement was 13.34 millimetres and horizontal displacement was 0.34 millimetres. The score for the aesthetics and uniqueness of the bridge model was 69.7 points out of 100. As some rules were violated during the assembly of the bridge model, additional minutes were added to the assembly time, so that the final time was over 37 minutes. The vertical displacement of the bridge model that was measured at the competition was over 3 times higher than during the test loading and 10 times higher than the calculated vertical displacement of the bridge model. The reason of differences between the vertical displacements that were measured at the test loading and at the competition can be possibly derived from the fact that the technical details about fixing the legs that were presented before the competition were different from the actual situation.

The average vertical displacement of girders that was measured after the DECO 2015 competition during the additional test loading was 4.35 millimetres. During the second test

loading an extra 20% load was also added to the regular loads and the average measured vertical displacement of girders was 5.65 millimetres.

Seventh place was achieved in the DECO 2015 competition, which was not as high as hoped. According to the test loading and test assembly results, this bridge model could have received higher scores.