



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

TTÜ Ehituse ja Arhitektuuri Instituut

# SILLAMUDELI ARENDUS TERASSILDADE VÕISTLUSEKS BRICO 2019

DEVELOPMENT OF BRIDGE FOR THE NORDIC STEEL BRIDGE COMPETITION  
BRICO 2019

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kerttu Volk

Üliõpilaskood: 144556

Juhendaja: Prof. Juhan Idnurm

Tallinn 2019

## SISSEJUHATUS

Antud töö eesmärgiks on osaleda Tallinna Tehnikaülikooli inseneriteaduskonna Üliõpilasnõukogu poolt korraldataval BRICO (The Nordic Steel Bridge Competition) 2019 terassildade võistlusel. Käesoleva töö eesmärk on jagatud kaheks alameesmärgiks – konstrueerida ja arendada konkurentsi võimeline sild ning seejärel võrrelda reaalseid tulemusi arvutuslikega ning teha võistlus tulemustest analüüs. Antud võistlusel tuleb konstrueerida viie meetrise sildega sild, mis oleks võimalikult kerge ning esteetiline, samuti tuleb arvestada võimalikult lihtsa monteerimisega ning, et arendatud sild suudaks vastu võtta võimalikult väikese siirdumisega 1000 kg raskuse.

BRICO võistlus toimub tänavu neljandat korda. Reeglite kohaselt võib võistlusel osaleda neljaliikmeline tiim ning nende juhendaja. Tegemist on rahvusvahelise võistlusega, kus on osalenud tiimid Eestist Austraaliani, kokku kümnest erinevast riigist. Enim tiime on seni osalenud BRICO 2017 võistlusel, kus võttis osa 14 tiimi.

Euroopas toimub sarnane tudengitele mõeldud terassildade võistlus Türgis, varasemalt on toimunud sellised võistlused ka Poolas. Türgis korraldataval DE&CO võistlusel võttis 2015. aastal osa ka üks Tallinna Tehnikaülikooli meeskond, kes saavutas antud võistlusel seitsmenda koha. Pärast sealsel võistlusel osalemist, on korraldatud sarnast võistlust nüüdseks ka Eestis. Tudengite terassildade võistlus on väga populaarne Ameerika Ühendriikides. See sai alguse aastal 1987 ning esimesel võistlusel osales kolm kooli. Praeguseks on võistlus kasvanud nii suureks, et lõppvõistlusel osalemiseks on vaja saavutada võimalikult hea tulemus osariiklikus voorus, tänavu proovis lõppvõistlusele pääseda üle 200 kooli üle terve riigi. (American Institute of Steel Construction 2019)

Eesti esimene teraskanduritega sild asus Silla-Poti vahelisel maanteel üle Velise jõe. Silla lasi ehitada sealne mõisnik 1884. aastal. Sillasambad olid paekivist. Kolme avalise silla kaks äärmist sillet valmistati puidust, keskmisel aval oli 19,9 meetri pikkune Saksamaalt ostetud terasferm. Silla üldpikkus oli 67,2 meetrit ja laius 4 meetrit. 1970. aastal sild lammutati, kuna silla kandevõime oli väike ning laius ebapiisav. Praegu võib näha antud silla terasfermi Eesti Maanteemuuseumis. (Eesti Sillad, Mairo Rääsk 2006)

Käesolevas töös tehtud sillamudeli arvutuste tegemisel on kasutatud programmi STAAD Pro V8, mis kasutab lõplike elementide meetodit. Lõplike elementide meetodi puhul jagatakse vaadeldav element või tasand väiksemateks osadeks ehk lõplikeks elementideks ning kasutatakse diferentsiaalvõrrandite süsteemi nende arvutamisel. STAAD Pro V8 programm on arendatud Bently System, Inc. poolt. Antud programm on laialdaselt kasutusel tsiviilehituses kui ka teistes ehituse

valdkondades, kus on vajalik teha konstruktsiooni analüüsi. Alternatiivsed programmid antud töös kasutatud programmidele oleksid Robot, SAP2000, RFEM jne.

Antud töös olevad joonised on tehtud kasutades AutoCAD Civil 3D 2018. Autocad programm on arendatud Autodeski, Inc. poolt ning esimene versioon sellest on välja lastud 1982. Praeguseks hetkeks on AutoCadi välja lastud 34 versiooni Windowsi operatsiooni süsteemile ning iga aastast tuleb välja uus versioon.

## KOKKUVÕTE

Lõputöö koostamisel oli seatud kaks eesmärki – arendada ning konstrueerida konkurentsi võimeline sild BRICO 2019 võistluse jaoks ning seejärel teha tulemustest analüüs. Võistlusjärgne tulemuste analüüs aitab mõista kui palju erinevad üksteisest arvutuslikud tulemused reaalselt.

Parima tulemuse saavutamiseks tuli enne silla arendust läbi töötada võistluse reeglid ja tingimused. Samuti tuli analüüsida eelnevate aastate tulemusi ning tutvuda lõppskoori mõjutavate valemitega. Samuti paistis silma, et sel aastal kasutatavad valemid erineva eelmise aasta omadega. Erinevus oli küll marginaalne, aga siiski pidi sellega arvestama. Analüüsides algandmeid selgus, et kõige suuremat osatähtsust antud võistlusele omab omakaal ning vertikaalne siire. Seega tuli konstrueerida 5m sildega terrassild, mille mass ning siirded oleksid minimaalsed. Lisaks tuli tähelepanu pöörata esteetilisusele ning võimalikult kiirele monteerimis võimalusele.

Võistluse jaoks edasi arendatava sillamudeli valiku jaoks koostas töö autor mitmeid erinevaid variante. Valituks osutus alt kaarega lahendus, mis oli oma välimuse poolest unikaalne ning kiiresti monteeritav. Lisaks näitasid esialgsed arvutused sellele väikest omakaalu ning siirdeid. Sillamudeli arendus toimus programmi Staad Pro V8 abil, mis töötab lõplike elementide meetodil. Mudelis tehti marginaalseid muudatusi ning pärast iga muudatust lasti arvutiprogrammil seda analüüsida. Seda protsessi jätkati seni, kuni oldi tulemusega piisavalt rahul. Projekteeritud sillal otsustati kasutada ümarristlõikega profiile, mis on esteetilisuse poole pealt töö autori hinnangul parem lahendus. Torude kasutamisel on probleemiks nende kättesaadavus kõige optimaalsema läbimõõdu ja seina paksuse suhtega. Kokku on projekteeritud sillal kasutatud kolme tüüpi torusid, vardaid ning lehtmetailist plaati. Lehtmetailist plaati otsustati kasutada nii kandva- kui ka iluelemendina ning sellele lasti teha laserlõikusega muster.

Reaalne sild erines mõnevõrra projekteeritud variandist. Kõige suurem muutus tekkis varraste asendamisel torudega. Selle muutusega seoses suurenes silla omakaal ning ka varraste jätkamise sõlmede lahendus. Õnneks antud muudatused ei mõjutanud silla kandevõimet.

Enne BRICO 2019 lõppvõistlust saadi võistkonnaga mitmel korral kokku, et harjutada silla monteerimist. Esimesetel harjutamistel mõeldi välja kõige optimaalsem detailide kokku panemise järjekord ning jaotati igale tiimi liikmele vastavad ülesanded. Iga kokkupanek läks aina kiiremini ning lõppvõistlusel saavutati ka isiklik parim tulemus. Enne lõppvõistlust ei toimunud proovikoormamist ja kaalumist.

Lõppvõistlusel saavutati neljas koht. Suurim altminek oli silla omakaaluga, milleks oli 93kg. See oli kogu võistluse raskuselt teine sild. Vertikaalseks siirdeks mõõdeti 6,53mm ning horisontaalseks 0,64mm. Monteerimisele kulus aega 19,63 minutit ning selle käigus ei tehtud ühtegi viga, antud tulemusega võib rahule jääda. Esteetilisuse kategoorias läks tulemusena kirja 82,5 punkti 100-st. Suur omakaalu erinevus esialgsete arvutustega tulenes varraste asendamisel torudega ning jalaplaadi paksuste muutusest. Vertikaalse siirde väärtus oli üle kolme korra suurem kui arvutuslik. Selline erinevus võis tekkida jalgade ja vöö ühendatava poldi ära jätmisest, kus hülss vajus liialt jalga sisse. Horisontaalne siire ning esteetikas saadud punktid olid ootuspärased.

Parema tulemuse saavutamiseks oleks pidanud konstrueeritud sild vähem kaaluma. Selle saavutamiseks oleks olnud võimalus kasutada nelinurkse profiiliga elemente, mille tootevalik on laiem. Samuti on võimalus kasutada ümarristlõikega profiile ning vastavalt pingete jaotumise põhjal lõigata välja üleliigne materjal.

# SUMMARY

## DEVELOPMENT OF MODEL FOR THE NORDIC STEEL BRIDGE COMPETITION

### BRICO 2019

Kerttu Volk

There were two aims of the thesis – to develop and construct competitive bridge for The Nordic Steel Bridge Competition BRICO 2019 and then make analysis of the results. Post-competition analysis will help to understand difference between computational results to actual.

For best results, there was need to work through rules and regulations of the competition, previous year results and formulas for calculating cost of bridge which affect final score. There were some changes in formula between BRICO 2018 and 2019. Although the differences were marginal, it still had to be taken into account. Analyzing the source data, it became clear that the most important parts of BRICO 2019 competition were self-weight and vertical deflection. Therefore, there was need to construct steel bridge with 5meter span with minimal self-weight and vertical deflection. Also the bridge should look as aesthetic as possible and had minimal assembling time.

For the selection of the bridge model to be developed for the competition, the author of the work made several variants of different bridge types. The deck arch bridge was selected for its unique appearance and speed of assembling. In addition, the initial calculations showed small self-weight and deflections. Development of the bridge was made using software Staad Pro V8, which works on the finite element method. There were made minimal changes in model and after every change this program analyzed it. This process was continued until the result was satisfying. From an aesthetic view there were made decision to use circular cross-section elements. Even though it has less selection. In this bridge there were used three different types of circular hollow, circular rod and perforated steel. Perforated steel sheet was used as a carrying element and also to give more aesthetic to bridge.

There were some differences between model and real bridge. The most noticeable change occurs when the rods were replaced by circular hollow. This change affected most the self-weight. This change did not have negative affect for bridge. Before the BRICO 2019 final competition, the team was gathered several times to practice assembly of the bridge. In final competition the were made personal record of assembly. There were no weighing and test loading before competition.

Fourth place was achieved in BRICO 2019. The biggest mistake was the self-weight, which was 93kg. It was second worst score of the competition. Vertical deflection was measured 6.53mm and horizontal 0.64mm. It took 19.63 minutes to assemble and there were no mistakes during it. The score of aesthetic was 82.5 points out of 100. The biggest difference in self-weight compared computational and actual was occurred by change of rods and thickness of the legplate. The measured value of the vertical deflection was three times higher than the calculated value. Such a difference may have been caused by the change of leg and side panel connecting joint. Horizontal deflection and points form aesthetics are as expected.

To achieve a better result, the designed bridge should weight less. For weight loss it is possible to use rectangular hollow cross-section profiles, which have a wider selection. Also there is possibility to cut out some material according to the distribution of stresses.