



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

---

Ehituse ja arhitektuuri instituut

NÕUKOGUAEGSETE TÜÜPSILDADE KANDEVÕIME  
VIIMINE VASTAVUSSE EURONÕUETEGA JA  
VÕIMALIKE TUGEVDAMISE NING LAIENDAMISE  
MEETODITE ANALÜÜS

STRENGTHENING AND WIDENING METHODS ON SOVIET ERA STANDARD  
BRIDGES FOR COMPLIANCE WITH THE EUROCODE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Erki Reinsalu

Üliõpilaskood: 110750EATI

Juhendaja: Prof. Siim Idnurm

Tallinn, 2017.a.

**KOKKUVÕTE**  
**NÕUKOGUAEGSETE TÜÜPSILDADE KANDEVÕIME VIIMINE VASTAVUSSE**  
**EURONÕUETEGA JA VÕIMALIKE TUGEVDAMISE NING LAIENDAMISE**  
**MEETODITE ANALÜÜS**

Erki Reinsalu

Sildade olem Eesti teedel on koostatud Teeregistri ja BMS andmebaasi põhjal. Kuigi alates 2013. aastast BMS andmebaas ametlikult kasutusel ei ole, siis tegemist on endiselt ainsa sildade seisukorda ja visuaalset ülevaadet (fotojäädvustused) pakkuva andmesüsteemiga. Antud töö mahtu arvestades ei oleks olnud mõeldav ligikaudu 950 silla tüübi, avahituse materjali, avade pikkuse, silla laiuse jne. üle mõõtmise ja kontroll, mistõttu uurimistöös leitud laiendusvajadusega sildade nimekirja adekvaatsus sõltub suuresti Teeregistri ja BMS andmebaasi täpsusest. Käsitletud 947-st sillast sobisid meie kriteeriumitega – silla tüübiks monteeritavatest raudbetoonist lihttala sild – 435 silda. Laiendust vajavast 144-st sillast 60 vastasid tüüpkataloogi nr. 56 ja nr. 56 lisa kriteeriumitele. Tugevdamise vajadusega sildade all on välja toodud *Puidutranspordi makromajandusliku uuringu* käigus tuvastatud projekteerimisaegset kandevõimet mitte omavad sillad – 41 kokku, millest 12 vastab tüüpkataloogi taladele.

Paindekandevõime määramisel annab 99% tala kandevõimest armatuurterase voolupiir, hulk ja paigutus ning tala ristlõike geomeetria. Betooni enda 50% survetugevuse kasv mõjutab üldist tala paindekandevõimet vaid 1% ulatuses.

Eurokoodeksi ja SNiP standardi paindekandevõime arvutusmeetodid põhinevad mõlemad tasakaalumomendi kaudu survetsooni betooni ja tõmbetsooni armatuuri balansseerimisel, mille tõttu arvutuslikud tulemused normaalarmeeritud ristlõike korral kattuvad. Ülearmeeritud ristlõik korral rakendavad standardid erinevaid lähenemisi ja tegureid, millega antud töös arvestama ei ole pidanud.

Metsaveokite koormusmudelite koormustele, nii 44 t, 50 t, 54 t ja 60 t täismassiga poolhaagis – ja haagisveokite puhul, on tüüpkataloogi nr. 56 ja nr. 56 lisa alusel projekteeritud sillad nii paindekandevõime kui ka põikjõukandevõime poolest vastupidavad. Sellisele tulemusele jõudmine annab kinnitust ka varasemate antud teema käsitlustes tehtud järeldustele, et projekteerimisaegset kandevõimet säilitanud sillad on võimelised kandma juba praegu lubatust raskemaid veokeid. Kahjuks ei ole Eesti sillavõrgu seisukord aastatel 1959 – 1970 ehitatud sildedel nõnda hea, et tüüpkataloogi taladele võiks omistada projektikohast

kandevõimet ja seega tuleb iga silda eraldi käsitleda ja kandevõime määramisel uurida esinevaid kahjustusi ja nende mõjusid põhjalikumalt. Eraldi kontroll tuleb samuti teostada sillapõhiselt laienduse olukorras, kus äärmisel talal suureneb koormus 20...30% ja olenevalt laienduse määrast ei pruugi kandevõime olla tagatud.

Eurokoodeksi LM1 koormusmudeli ja 3600kN eriveoki rakendamisel ilmneb painde – ja põikjõukandevõime puudujäägid nii olemasoleva kui ka laiendatud ristlõike korral. Siinkohal tuleks mõelda millist liiklust sildadele üldse oodata on ja kas talade tugevdamine võimaldamaks tänapäevaseid projektkoormuseid vastu võtma on üldse mõistlik lähenemine. Peamise tugevduse meetodina on antud töös käsitletud süsinikkiududega tugevdatud polümeerribade e. CFRP kasutamine tala alumisel pinnal, kus olenevalt tugevdusriba tüübist, geometriast ja elastsusmoodulist võib ühe tugevduse lisamisega tõsta paindekandevõimet 40 – 130 kNm võrra. Antud meetodi kasutamise plussiks on esteetilisus, paigalduse kiirus (ei nõua rohkelt kinnituspoltide paigaldamist) ja vastupidavus eksploatatsioonile. Miinuseks on epoksiidliimi ja betooni hea nakke saavutamise, mis on ka kandevõime tõusu eelduseks ja korrektne paigaldus kas tootja või edasimüüja poolt soovitatud spetsialistide poolt tõstab tööjõukulutusi märgatavalt.

FRP materjal on tänu oma kergusele, tugevusele ja vastupidavusele konkurentsivõimeline alternatiiv konsoolse või ka toetatud laienduse lisamisel. Uuritud kaare elemendi korral esineb samade tugevusnäitajate korral 2-kordne elemendi kaalu erinevus terase ja FRP vahel. Sillatekina on FRP eelised terase ja betooni ees veel märgatavamad, kus FBD300 profiiliga ( $h=80\text{mm}$ ,  $m=42\text{kg/m}^2$ ) võrdväärse kandevõimega alternatiivina tuleks kasutada betoonist õõnespaneeli H150 (vähima kõrgusega tootja poolt pakutav paneel,  $m=220\text{kg/m}^2$ ). FRP konstruktsioonid ja kandvad elemendid on üha enam nõudmas turgu tsiviilehituses tänu oma eelistele: kergus, tugevus, vastupidavus, vähese hoolduse vajadus, paigaldamiskiirus ja kergus, geometria vabadus, lihtne pealispinda töödelda. Olenevalt konstruktsiooni suurusele, kujule ja funktsioonile on FRP näol endiselt tegemist tuntavalt kallima materjaliga kui meile kättesaadav ja harjumuspärane teras ja betoon. Tulevikku vaadava näitena toon siin kohal Rotterdami linna hanke kergliiklus sildadele linna rohealadel, kus võitjaks osutunud FRP sillamooduleid valmistav ettevõtte konkureeris hinna poolest terassilla lahendustega.

## SUMMARY

### STRENGTHENING AND WIDENING METHODS ON SOVIET ERA STANDARD BRIDGES FOR COMPLIANCE WITH THE EUROCODE

Erki Reinsalu

Out of the **947** bridges (statistics from 2016) available on our national roads we have **144** prefabricated reinforced bridges that were built between 1959 -1970 and are designed using standard T-beams available in Catalogue nr. 56 and Catalogue nr 56. Addition. It has been established that **60** of these bridges require expanding the superstructure (bridge upper deck) to accommodate increased traffic and provide sufficient safety on crossing. Another **12** bridges currently do not meet the original design criteria minimum requirements and should be assessed for structural reinforcements.

99% of reinforced concrete beam bearing capacity is affected by the yield strength, amount and placement of steel rebar and general cross-section geometry. Compressive strength of the concrete only effects 1% of total capacity, which means that additional strength required through hydration process is neglectable.

As the condition of the bridges that were built during 1959 – 1970 have deteriorated with time and use, we can't assume that initial design bearing capacity is guaranteed – thus every bridge must be verified case by case basis to examine the visual and structural damages and their effect on current bearing capacity. Case by case design verification is required when changes to the superstructure (bridge deck) are being made as the design load on side beams may increase 20 – 30 % depending on the width added to the deck. For this reason, deck widening more than 1 m on each side has not been considered as a valid option.

Results from applying LM1 and LM3 (3600 kN) load case shows lack of both shear force and bending moment resistance. This raises the question whether it is sensible to reinforce superstructure to withstand such estimated traffic or should we implement axial loading/gross weight restrictions in such cases. It has been established that simply supported bridges based on T-shape prefabricated reinforced concrete beams as provided in Catalogue nr. 56 and nr. 56 Addition, have enough bearing capacity to withstand the loading of 44 t, 50 t, 54 t and 60 t semi – and full trailer trucks. For these trucks the load cases are accurately predictable and therefore precise modelling can be made.

Strengthening methods can be chosen as active or passive: with active method, the structure is altered to redistribute stresses in more favourable manner with additional diaphragms. For passive approach, the most suitable is Carbon Fibre Reinforced polymer – CFRP on bottom

level of beams to reduce tensile stress. With one reinforcement layer of CFRP we can add 40 – 130 kNm of bending capacity.

In addition, by simply adding a 5 cm reinforced concrete topping with simultaneously reducing the width of the parapet from 1 m to 0,6 m we increase the deck stiffness and increase available deck width by 0,4 m on each side.

FRP material is due to its light weight, strength, and durability characteristics a very competitive alternative to structural steel based on the example of an arch supported bridge deck.

Advantages of FRP become ever clearer when comparing bridge deck panels: for the same span and load bearing capacity FRP deck element delivers 50% weight reduction, that can be advantageously applied with cantilevering structures.

FRP structures and load bearing elements are progressively gaining market share in civil engineering where light weight, strength, durability, minimal maintenance, assembly speed, freedom of geometry and surface finishing are of importance. Depending on shape and size FRP still remains a more expensive solution compared to structural steel and concrete.

As a forward-looking example into our engineering future: the city of Rotterdam has held a procurement to find both design and construction companies for pedestrian bridges in city parks. This procurement was won by a company producing FRP bridge modules by being able to match FRP bridge cost to competitive steel bridge cost.