

TTÜ koormus- katsetused: Särevere silla kuulsusrikas lõpp

Särevere silla koormuskatsetused on osa Maanteeameti pikemaajalisest uuringust, et hinnata Nõukogude Liidu ajal rajatud raudbetoonsildade kandevõimet lähtuvalt pidevalt suurenevast liikluskooormusest. Ettevõtmisest teeb ülevaate Tallinna Tehnikaülikooli sillaehituse õppetooli professor Juhan Idnurm.

Tekst: Juhan Idnurm

Fotod: TTÜ, TTK



Koormatud
silla jälgimine
dronilt.

Sildade rajamise ajast saadik on pidevalt kasvanud nõuded sillakoormustele. Pärast seda kui võeti kasutusele Eurocode'i-põhised koormusnormid, ületavad tänapäevased liikluskoormused oluliselt suuruseid, millele projekteeriti omaaegsed tüüplahendused. Seetõttu on oluline kindlaks teha, millistel tingimustel, lähtuvalt tüüplahendusest ja silla seisundist, saab omaaegseid sildu rakendada, kas võib osutada vajalikuks nende tugevdamine või koguni lammutamine ja asendamine uutega. Uuringute raames on Tallinna Tehnikaülikoolis tehtud ka Loobu silla koormuskatsetamine ja teoreetiline uuring teemal „Nõukoguaegsete tüüpsildade kandevõime viimine vastavusse euronõuetega ja võimalike tugevdamise meetodite analüüs“.

Särevere silla koormuskatsetamine oli põhjalik uuring, mis koosnes silla ülevaatusel, silla staatilisest ja dünaamilisest katsetamisest koos silla deformatsioonide mõõtmisega enne, katsetamise ajal ja pärast katsetamist ning teoreetilistest arvutustest. Katsetustööde juhiks oli TTÜ ehitusteaduskonna dekaan, endine TTÜ sillaehituse õppetooli professor Siim Idnurm. Katsetamisel oli abiks TTÜ sillaehituse õppetooli professor Juhan Idnurm ning geodeetiliste mõõdistamiste ja deformatsioonide fikseerimiseks TTÜ geodeesia õppetooli professor Artu Ellmann koos õppetooli töötajate Innar Metsala ja Kalev Julgega. Alltöövõtuna kasutati silla ülevaatuks ja defektide registreerimiseks Tallinna Tehnikakõrgkooli spetsialiste, professor Martti Kiisat ja lektor Karin Lelipit ning silla dünaamilise katsetamise tarvis E&M Engineering Solutions OÜ-d, teostajaks Eerik Peeker.

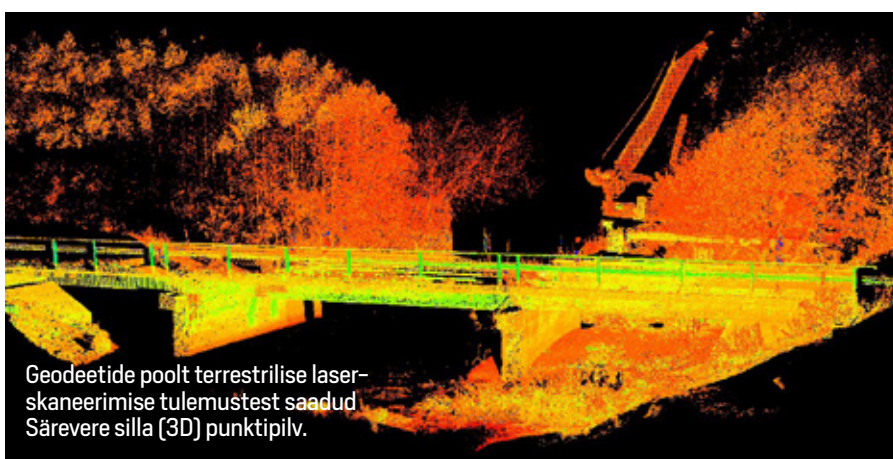
SÄREVERE SILD

Särevere sild oli ehitatud 1970. ja renoveeritud 1998. aastal. Sild asub riigitee nr 5 km-1 75,3, ületab Pärnu jõge ning on rajatud kolmeavalisena, pikkusega 39,7 m. Silla tekiehitus koosneb tüüptaladest („Союздорпроект. Типовые проекты сооружений на автомобильных дорогах. Выпуск 56 – дополнения. Москва 1962. Инв. 147/2-2“). Silla avad on 10,56; 13,26; 10,56; arvutuslikud avad tüüpkataloogi kohaselt 11,1 ja 13,7 m, talade pikkused 11,36 ja 14,06 m. Enne renoveerimist oli silla laiusgabariit Г 8, st sõidutee laius oli 8 m, sillatalade arv 6. Pärast renoveerimist oli silla kogulaius 11,6 m ja sõidutee laius 11,5 m. Sõidutee laiendamise toimus seniste kõnniteede ärajätmise ja sillale täiendava tala lisamise arvel. Tüüpprojekti järgi on sillatalad projekteeritud liikluskoormustele N18 ja NK-80. Viimane neist on ka talade kandevõimete jaoks määravaks koormuseks.

Katsetuse ajaks oli sild käigust eemalda-



Särevere sild koormatult 288 t koormusega.



Geodeetide poolt terrestrial laser-skaneerimise tulemustest saadud Särevvere silla (3D) punktipilv.

tud, liiklus toimus üle uue, 2015. aastal valminud silla. Silla ülevaatusel selgus, et silla olukord oli võrreldes viimase, 2013. aastal toimunud ülevaatuslega veidi halvenenud. Silla keskmises avas olev äärmine raudbetootala oli märgatavalt kahjustunud, betoon oli pudenenud ja paljastunud armatuur roostetas. Muidu võis silla tehnilist olukorda lugeda rahuldavaks ja kandevõimet tervikuna esialgsele projektile vastavaks.

SILLA KATSETAMINE

Silla katsetustööd tehti 17. ja 18. oktoobril 2015. Silla staatilise katsetamise koormuseks kasutati raudplokkide kaaluga 2 t, mõõtmitega 0,4 x 0,4 x 2 m, kogukoormusega kuni 288 t. Ilmaolud olid katsetamise ajal head. Laupäeval, 17. oktoobril oli soe sügisilm, päike paistis, pilvitu, temperatuur ca 12 °C. Pühapäeval, 18. oktoobril oli sompus, udune ilm kogu katsetamise ajal, temperatuur ca +2 °C.

Silla katsetamine toimus mitmes järgus ja selle käigus simuleeriti erinevaid koormustüüpe. Äärmist, lühemat ava koormati SNIIP-kohase koormusega N-30 ja EVS-EN-kohase koormusega KM-1. Keskmine ava koormati SNIIP-kohase koormusega NK-80, algse kogukaaluga 80 t, mida hiljem suurendati etappide kaupa kuni 288 tonnini, et saavutada silda purustav koormus. Koormuste täpselt paigaldamiseks märgiti värvi abil silla tekiplaadile

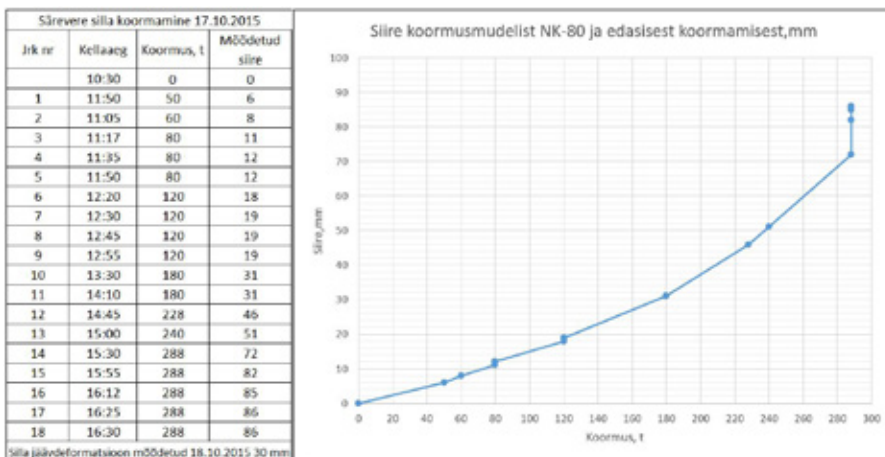
alumiste plokkide täpsed asukohad ja sinna asetatud plokkidele laoti järgmised selliselt, et koormuse suurus vastaks normidega etteantud väärtustele.

Silla deformatsioonide mõõtmine täpispinnelleerimisega tehti enne koormamist, pärast koormuse paigaldamist ja ka koormuse eemaldamist. Täiendavalt tehti keskmise ava jääkdeformatsioonide mõõtmine katsetamisele järgneval päeval. Silla deformatsioonide pidevat arengut keskmises avas jälgiti jõe kaldale paigaldatud lasertahhümeetriga, äärmise ava deformatsioonide mõõtmiseks kasutati talade alla paigaldatud piiramatu mõõtekäiguga „Maksimov“-tüüpi mõõtekelli. Silla 3D-kuju mõõdistamiseks katsetuse eri etappide käigus kasutati terrestrial laser-skannerit.

Koormamise ajal jälgiti lisaks deformatsioonide mõõtmisele ka pragude arenemist raudbetootalades. Keskmises avas kasutati lähedalt drooni ja kaugemalt suure suumiga fototehnikat. Äärmiste talade pragunemist oli võimalik jälgida vahetult ja mõõta nende suurus mõõtemikroskoobiga. Dünaamiline katsetamine tehti kahes etapis: enne ja pärast silla staatilist katsetamist. Lisaks katsetamisel kasutatud koormusmudelitele leiti teoreetiliste arvutustega silla sisejõud ka NATO MLC koormusmudelitele ning liikluses olevatele raskeveokite teljekoormustele.



Deformeerunud sild maksimaalsest (288 t) koormusest.



Joonis 1. Silla siirded purustava koormusega koormamisel.

TULEMUSED

Silla keskmise ava katsetamisel maksimaalse koormusega kuni 288 t sild otseselt ei purunenud. Joonisel 1 on toodud välja silla deformatsioonid eri koormusetappidest. Joonisel on näha, et esialgu koormusetappide vaheliste 30-minutiliste vahepauside käigus deformatsioon märgatavalt ei kasvanud. Olukord muutus pärast 288 t koormuse peale asetamist, kui sild vajus aja jooksul järjest rohkem läbi: silla keskkoha siire suurenes esialgselt arvestades 1 tunni jooksul 14 mm võrra.

Silla keskmise ava äärmises talas leitud suurimat normatiivset paindemomenti 1092 kNm põhjustas olukord, kus sild oli koormatud omakaalu ja koormusmudelile NK-80 vastava koormusega. Modaalanalüüsi kohaselt oleks silla piirkandevõime lisanduvast koormusest pidanud olema vähemalt $M_u \geq 2800$ kNm. Sillale asetatud 288 t koormusest tulenev lisapaindemoment $M_s = 2736$ kNm ei ületanud modaalanalüüsist leitud piirsurust. Katsetamise käigus ajutisest koormusest saavutatud

deformatsioonid ületasid kasutuspiirseisundi piirsurust 34 mm 2,5-kordselt, seega muutus sild katsetamise tulemusena kasutuskõlbmatuks. Koormuse edasise suurendamisel oli oht silla füüsiliseks purunemiseks.

Teoreetiliste arvutuste ja esimese ava katsetulemuste analüüsi kohaselt ei ole olemasolevast tavalikkusest sildade kandevõimele ohtu. Eriveoste korral tuleb need paigutada võimalikult tee telje lähedusse, mis tagab koormuse ühtlasema jaotuse talade vahel.

RASKEVEOKID

Üksikute raskeveokite jaoks kasutatud NATO MLC-i mudelile rakendamisel jääb silla lühem ava ka silla servas toimuva liikluse korral kategooriasse MLC150 ja keskmine pikem ava kategooriasse MLC100. Vaadates eri raskeveokitega tehtud võrdlusarvutusi, võib järeldada, et paaristelgedel korral kannatab sild hästi 13 t suuruste teljekoormuste liiklust. Kolmestelgedel korral kannatab sild telje-

Mõisted

Staatiline katsetamine – konstruktsiooni koormamine püsiva või aeglaselt suurendatava koormusega, et põhjustada sellel mõõdetavaid deformatsioone ja/või purunemist.

Dünaamiline katsetamine – silla koormamine ajas kiiresti muutuva koormusega, tavaliselt mingi kindla jõu poolt tekitatud löögiga, et panna konstruktsioon võnkuma.

SNiP – Nõukogude Liidu aegsed projekteerimismõõdnormid.

Eurocode – Euroopa Liidus kasutatavate projekteerimismõõdnormide kogum.

koormust kuni 11 t, mis ümberarvutatult üksikule teljele ületab 18 t tingimusel, et telgede vahe on vähemalt 4,7 m. Sel juhul jäävad reaalseste raskeveokite poolt põhjustatud sisejõud väiksemaks, kui on talade piirkandevõime, samuti väiksemaks, kui on koormuse NK-80 poolt põhjustatud sisejõud. Seega puudub alus vastava pikkusega taladele sarnaseid veokeid mitte lubada, kui talade kandevõime vastab NK-80-le. Kui tüüpilade pikkus ületab 13,7 m, siis on võimalik, et silla sildeavasse mahub rohkem kui üks telgede grupp. Sellisel juhul võivad sisejõud raskeveoki koormusest ületada eriveoki NK-80 omi.

Veoki NK-80 ja tänapäevaste Eurocode'i-põhiste eriveokite koormuste võrdlustest nähtub, et nüüdisaegsete eriveokite poolt põhjustatud sisejõud ületavad SNiP normide omi, kuid jäävad allapoole silla talade arvutuslikku kandevõimet. Otsust piirangut selliste eriveokite lubamiseks vastavate talastikuga sildadele ei ole, kuid tuleks eelistada väiksema teljekoormuse (150 kN) või laiemaid (240 kN) veokeid. Kuna SNiP korral on arvestatud veoki suvalise paiknemisega silla ristlõike laiuses, hoides EVS-EN-kohased eriveokid silla telje lähedal, on tõenäoline, et vastavad sisejõud jäävad sarnastesse suurusse.

Katsetustest järeldub, et kuni 13,7 m arvutusliku avaga NSVL-i tüüpiladel rajatud sillad on oma kandevõimelt sobivad tänapäevasele liikluskõormusele ja sobivad ka suuremate teljekoormustega veokitele, kui hetkel on lubatud kasutada. Siiski mõjutab silla arvutusliku kandevõime lähedaste koormuste sagedas kasutamine silda dünaamiliselt ja arvutuslikku kandevõimet ületavate koormuste korral on oht silla kahjustamiseks jäävdeformatsioonidega. ●