



REKONSTRUOJAMŲ PĖŠČIŲJŲ PLIENINIŲ VIADUKŲ PASPYRINĖS KONSTRUKCIJOS

Algirdas Juozapaitis¹, Gintas Šaučiūvenas², Juozas Nagevičius³

¹ Tiltų ir specialiųjų statinių katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

² Metalinių ir medinių konstrukcijų katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

³ Statybinės mechanikos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

El. paštas: ¹ alg@st.vgtu.lt; ² gintas.sauciuvenas@st.vgtu.lt; ³ juzas.nagevicius@admt.vgtu.lt;

Įteikta 2007-03-14; priimta 2007-06-07

Santrauka. Straipsnyje aptariama nauja paspyrinė plieninė konstrukcija, taikoma rekonstruojamuose pėščiųjų viadukuose. Pateikiamasis konstrukcinis sprendimas sudaro galimybę nesustabdant eksploataavimo vietoje rekonstruojamo dviejų tarpatramių sijinio viaduko įrengti paspyrinę vieno tarpatramio sistemą naudojant esamas laikančiąsias konstrukcijas. Analizuojama šios naujos konstrukcinės sistemos elgsena, pateikiamos analizinės išraiškos jos elementų įrašoms apskaičiuoti veikiant simetrinėms ir asimetrinėms apkrovoms. Aptariami racionalūs šios paspyrinės sistemos parametrai. Atliktu skaitiniu eksperimentu parodytas siūlomo konstrukcinio sprendimo veiksmingumas.

Reikšminiai žodžiai: plieniniai pėščiųjų viadukai, rekonstrukcija, paspyrinės sistemos, simetrinė ir asimetrinė apkrovos, racionalūs parametrai, techninis veiksmingumas.

STRUT-FRAMED BEAM STRUCTURE FOR RECONSTRUCTION OF PEDESTRIAN BRIDGES

Algirdas Juozapaitis¹, Gintas Šaučiūvenas², Juozas Nagevičius³

¹ Dept of Bridges and Special Structures, Vilnius Gediminas Technical University,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania

² Dept of Steel and Timber Structures, Vilnius Gediminas Technical University,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania

³ Dept of Structural Mechanics, Vilnius Gediminas Technical University,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania

E-mail: ¹ alg@st.vgtu.lt; ² gintas.sauciuvenas@st.vgtu.lt; ³ juzas.nagevicius@admt.vgtu.lt;

Received 14 March 2007; accepted 7 June 2007

Abstract. A new strut-framed beam steel structure is considered. This type structure is employed in reconstruction of pedestrian bridges. The proposed constructional design model allows replacing the two-span beam bridge by one span strut-framed beam. In this case the members of already existing carrying structure are employed and the service of the actual structure is not interrupted. A response of new structure to symmetric and asymmetric loadings is analysed. The analytical relations for distribution of internal forces are presented. The choice of parameters of strut-framed beam is investigated. An efficiency of suggested structural design model is illustrated via the performed numerical simulation of strut-framed beam.

Keywords: steel pedestrian bridges, reconstruction, strut-framed beam, symmetric and asymmetric loadings, design parameters, technical efficiency.

1. Įvadas

Susisiekimo modernizavimas, ypač didžiuosiuose miestuose, reikalauja ne tik naujų transporto statinių konstrukcinių sprendimų, bet priverčia neretai rekonstruoti eksploatuojamus automobilių transporto bei pėsčiųjų viadukus. Viadukų, tiltų, kaip ir kitų statinių rekonstrukciją gali skatinti tiek fizinis laikančiųjų konstrukcijų nusidėvėjimas, tiek vadinamasis jų moralinis nusidėvėjimas [1–7]. Pastaruoju atveju pagrindiniu rekonstrukcijos tikslu tampa naujų būtinų savybių, kurias lemia pakitę eksploataciniai reikalavimai, suteikimas esamoms konstrukcijoms [3, 5, 6]. Vienu iš tokių būdingų pavyzdžių gali būti laisvos erdvės išplėtimas po pėsčiųjų viaduku. Toks reikalavimas priverčia pašalinti esamas tarpines viaduko kolonas. Šiuo atveju sudėtingiausia konstrukciniu požiūriu yra ne sustiprinti kraštines viaduko atramas, o rekonstruoti egzistuojančias laikančiąsias perdangos konstrukcijas [3–6]. Senųjų viaduko perdangos konstrukcijų pakeitimas naujomis didesnės laikomosios galios ir didesnių matmenų konstrukcijomis ne tik reikalauja didelių medžiagų bei laiko sąnaudų, bet ir priverčia visiškai ar iš dalies apriboti eismą rekonstruojamoje zonoje. Veiksmingesniu laikomas toks rekonstrukcijos būdas, kai naujam sprendimui pritaikomos senosios perdangos konstrukcijos, ir, svarbiausia, tik minimaliai sustabdomas eismas po viaduku [3, 5, 8, 9].

Yra žinomi įvairūs būdai ir skaičiavimo metodai eksploatuojamoms laikančiosioms tiltų bei viadukų konstrukcijoms sustiprinti [4]. Konstrukcijų laikomajai galiai ar standumui padidinti pakankamai plačiai naudojamos įvairios plieninės iš anksto įtemptos templės ar paspyros [10–17]. Būtina pažymėti, kad pastaruoju metu yra plačiai naudojamos pėsčiųjų tiltų ar viadukų laikančiosios konstrukcijos, kuriose įrengiamos įvairios paspyrinės sistemos [15, 16, 17]. Šiuo atveju tiek naujai projektuojamų, tiek stiprinamų tokių konstrukcijų pagrindiniai laikantieji strypai yra dažniausiai ašinės jėgos ir lenkiamojo momento veikiami nekarpytieji elementai. Yra žinomos ir tokios plieninės paspyrinės stogų konstrukcijos, kuriose viršutinė juosta sudaryta iš karpytųjų elementų [18]. Šiose konstrukcijose yra galimybė veiksmingai reguliuoti viršutinės juostos lenkiamųjų momentų reikšmes. Pažymėtina, kad neretai eksploatuojamų statinių laikančiosios konstrukcijos yra stiprinamos taikant įvairius jų įtempių ir deformacijų reguliavimo metodus [4–7].

Šiame straipsnyje aptariama paspyrinė plieninė konstrukcija, sudaroma rekonstruojamuose sijiniuose pėsčiųjų viadukuose naudojant esamas sijas ir reguliuojant jų įtempių ir deformacijų būvį. Pateikiamas konstrukcinis sprendimas sudaro galimybę vietoje rekonstruojamo dviejų tarpatramių sijinio viaduko nesustabdant eksploatavimo įrengti paspyrinę vieno tarpatramio sistemą. Analizuojama šios naujos konstrukcinės sistemos elgsena, pateikiamos išraiškos jos elementų įrašoms apskaičiuoti veikiant simetrinėms ir asimetrinėms apkrovoms. Aptariami racionalūs šios paspyrinės sistemos komponuojamieji parametrai. Atliktu skaitiniu eksperimentu įvertintas siūlomos analizinės metodikos tikslumas bei taikomo konstrukcinio sprendimo veiksmingumas.

2. Rekonstruojamo pėsčiųjų viaduko konstrukcinė sistema

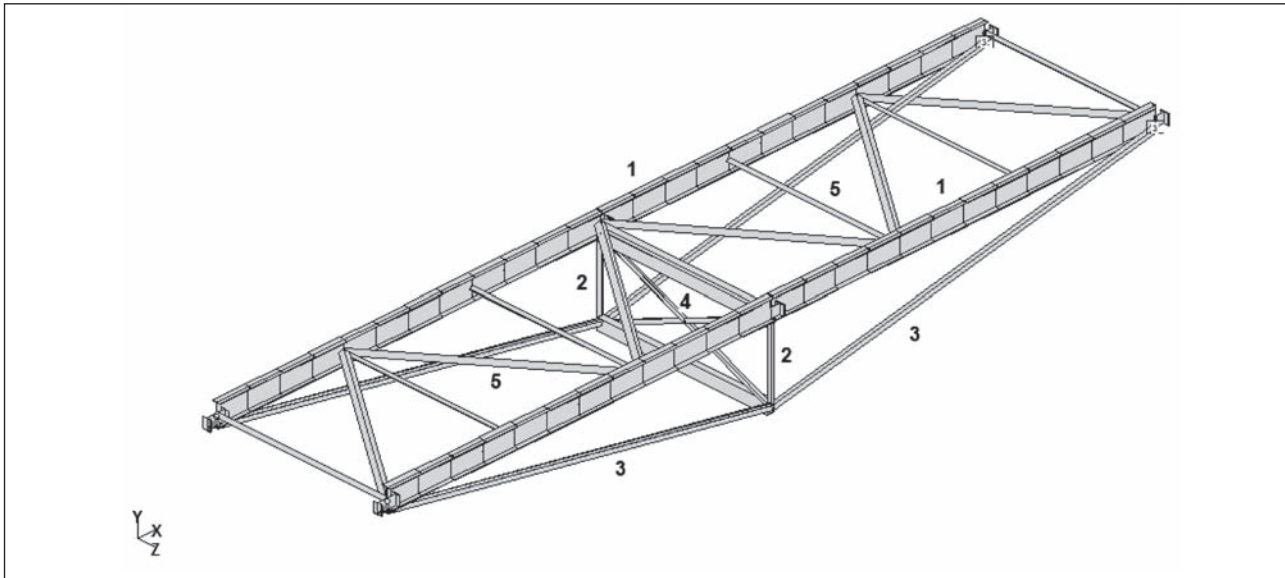
Nagrinėjamas dviejų vienodo ilgio tarpatramių su vidurine kolona pėsčiųjų viadukas, kurio perdangos laikančiąsias konstrukcijas sudaro dvi lanksčiai atremtos plieninės ištinio skerspjuvio sijos. Dėl pakitusių eksploatacinių sąlygų rekonstruojamame pėsčiųjų viaduke du kartus didinamas laisvasis tarpas, t. y. pašalinama vidurinė atrama. Siekiant išsaugoti ir panaudoti esamas laikančiąsias konstrukcijas bei esamą paklotą yra pritaikoma netipinė paspyrinė sistema. Šios sistemos statramsčiai įrengiami vietoje demontuojamų kolonų ir paremti templių-paspyrų, naudojami kaip tarpinės atramos sijoms. Pačios sijos tampa paspyrinės sistemos viršutinės juostos elementais. Taria, kad šios plieninės laikančiosios konstrukcijos neturi defektų ir jų laikomoji galia yra pakankama. Šių sijų tarpusavio jungtis, priešingai nei daugelyje naudojamų paspyrinė sistemų [3–7, 10–13], išlieka lanksti. Toks sprendimas ne tik leidžia sumažinti darbo sąnaudas, reikalingas, kaip įprasta, standžiai jungčiai tarp sijų įrengti, bet ir sudaro sąlygas padidinti jų laikomąją galią bei standumą taikant originalų įrašų reguliavimą. Be to, lanksti jungtis leidžia rekonstrukcijos metu „išlaikyti“ pradinę vidurinio lanksto padėtį, nesukeliant papildomų įtempių tiek sijose, tiek paklote nuo galimų vertikaliųjų visos sistemos poslinkių. Tokios paspyrinės sistemos erdvinė konstrukcijų schema parodyta 1 pav. Aptariamojoje paspyrinėje sistemoje turi būti įrengti vertikalieji ramsčiai (ryšiai).

Būtina pažymėti, kad tokioje paspyrinėje statiskai išsprendžiamoje sistemoje racionalus įrašų reguliavimas pasiekiamas ne išankstiniu templių (paspyrų) įtempimu, kaip yra įprasta [10–13], o necentrinio templių prijungimu prie sijų bei reikiamo statramsčio aukščio f parinkimu [18].

3. Analizinė įrašų ir poslinkių apskaičiavimo metodika

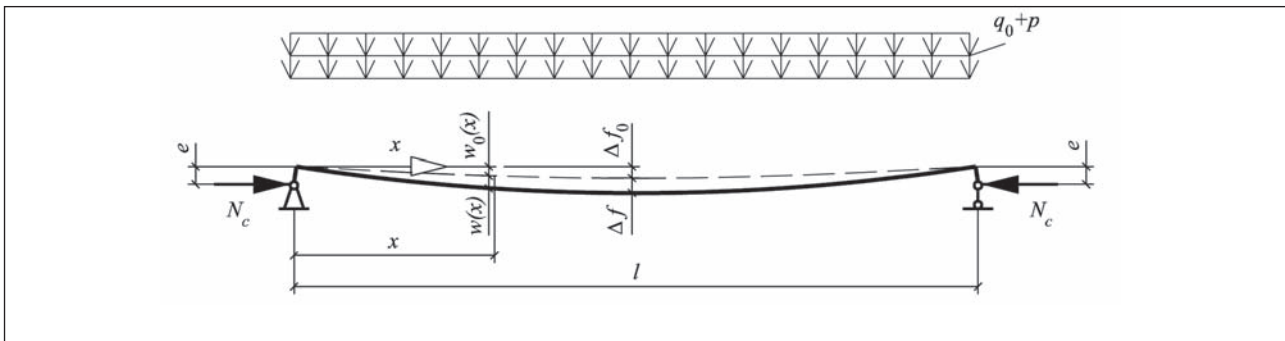
Nustatant nagrinėjamos konstrukcinės sistemos elementų įrašas ir poslinkius laikoma, kad rekonstrukcija atliekama nepakeičiant eksploatuojamo viaduko laikančiųjų sijų bei pakloto, t. y. veikiant nuolatinėms apkrovoms. Taria, kad šios plieninės sijos neturi defektų ir jų kaip lenkiamųjų elementų laikomoji galia yra pakankama. Naujos konstrukcinės sistemos, palyginti su pradine, įtempių deformacijų būvio nustatymas tampa sudėtingesnis, nes visų pirma plieninės sijos jau yra deformuotos nuo pradinės (nuolatinės) apkrovos. Be to, viršutinė juosta (sija) bus papildomai veikiamas ir ašinių gniuždomųjų jėgų, atsirandančių nuo templių (paspyrų) gulsčiųjų reakcijų. Taigi viršutinė juosta turi būti nagrinėjama kaip gniuždomasis ir lenkiamasis elementas su deformuota ašimi. Tokio elemento skaičiuojamoji schema pateikta 2 pav. Jame parodytas galimas ašinės gniuždomosios jėgos poveikis sijai su tam tikro dydžio ekscentricitetu e .

Visos paspyrinės konstrukcijos skaičiuojamoji schema pateikta 3 pav. Yra nagrinėjami du pagrindiniai apkrovimo atvejai: simetrinis ir asimetrinis. Pirmuoju atveju eksploatacinė (laikinoji) apkrova p paskirstyta per visą tarpatramį,



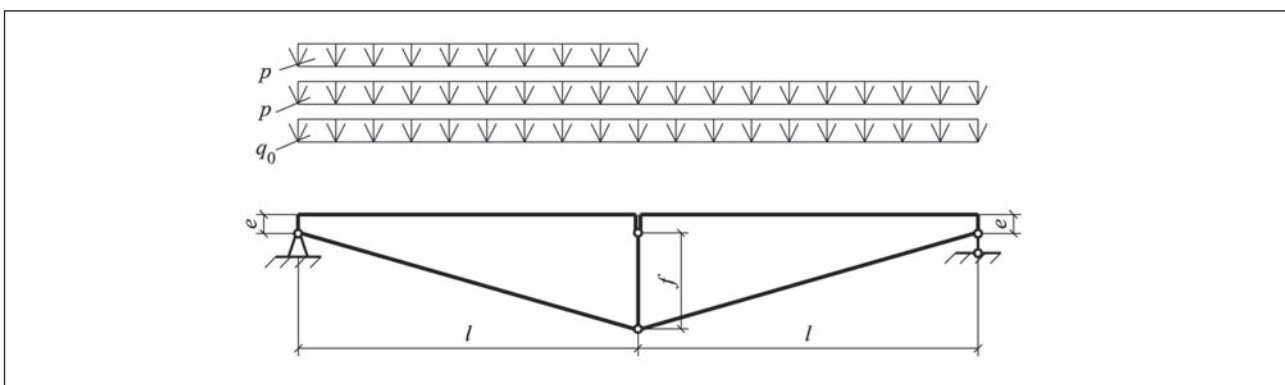
1 pav. Paspyrinės sistemos erdvinė schema: 1 – esamos sijos; 2 – statramstis; 3 – templys

Fig 1. Principal scheme of space strut-framed structure: 1 – current beam; 2 – strut; 3 – ties



2 pav. Paspyrinės sistemos viršutinės juostos elemento skaičiuojamoji schema

Fig 2. Design scheme of upper beam of space strut-framed structure



3 pav. Paspyrinės sistemos skaičiuojamoji schema

Fig 3. Design scheme of strut-framed structure

antruoju – vienoje jo pusėje (3 pav.). Akivaizdu, kad bet kuriuo apkrovimo atveju statramsčiai bus centriškai gniuždomi, o apatinės juostos (templės) bus tempiamos. Būtina pažymėti, kad naujos konstrukcinės sistemos viršutinės juostos elementų (sijų), veikiamų nuolatinės ir laikinosios apkrovų, laikomoji galia gali būti nepakankama, nes ašinė gniuždomoji jėga sukels juose papildomų įtempių. Akivaizdu, kad šios ašinės jėgos reikšmė atvirkščiai proporcinga statramsčio aukščiui f (3 pav.).

Aptarsime atskiro viršutinės juostos kaip tiesiškai deformuojamo elemento (sijos) skaičiavimą (2 pav.). Pradinės (nuolatinės) apkrovos q_0 deformuotos sijos ašies kreivė $w_0(x)$ parodyta punktyrine linija (2 pav.). Kartu veikiant apkrovoms q_0 ir p ir jų bendro poveikio sukeltai gniuždomajai jėgai N_c , pridėtai su tam tikru ekscentricitetu e , viršutinės juostos elementas deformuosis dydžiu $w(x)$ (2 pav.). Elemento bet kurio pjūvio momentų lygtį galime užrašyti taip:

$$M(x) + \frac{(q_0 + p)x^2}{2} - \frac{(q_0 + p)l^2}{2}x - N_c \cdot w_0(x) + N_c \cdot e = 0, \quad (1)$$

čia: $M(x) = -EJ \cdot w''(x)$ – sijos lenkiamasis momentas.

Iš (1) lygties galima gauti nagrinėjamo elemento lenkiamuosius momentus ties jo atramomis ir tarpatramio viduryje:

$$M(x=0) = M(x=l) = -N_c \cdot e, \quad (2)$$

$$M(x=l/2) = (q_0 + p)l^2/8 - N_c(e - \Delta f_0), \quad (3)$$

čia: Δf_0 – pradinis sijos įlinkis tarpatramio viduryje.

Pradinė sijos deformuotos ašies $w_0(x)$ kreivė nusakoma tokia lygtimi:

$$w_0(x) = \frac{q_0 \cdot l^4}{24EJ} \left(\frac{x}{l} - 2 \frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} \right). \quad (4)$$

Iš (1) lygties, atsižvelgę į (4) formulę, gausime bendrąją išraišką viršutinės juostos elemento įlinkiams apskaičiuoti [19]:

$$w(x) = w_p(x) + w_f(x) - w_e(x), \quad (5)$$

čia: $w_p(x)$ – įlinkių dalis nuo eksploatacinės apkrovos; $w_f(x)$ – įlinkių dalis nuo ašinės jėgos N_c poveikio, įvertinant pradinį sijos išlinkį; $w_e(x)$ – įlinkių dalis nuo ašinės jėgos N_c poveikio, įvertinant ekscentricitetą.

Akivaizdu, kad didžiausios poslinkių reikšmės bus sijos tarpatramio viduryje. Užrašysime analogiškai (5) išraišką formulę vidurinio pjūvio ($x = l/2$) poslinkiams apskaičiuoti:

$$\Delta f = \Delta f_p + \Delta f_f - \Delta f_e, \quad (6)$$

čia:

$$\Delta f_p = \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_0 + p)l^4}{EJ}, \quad (7)$$

$$\Delta f_f = \frac{(q_0 + p)l^4}{384 \cdot EJ} \cdot \frac{61 \cdot N_c \cdot l^2}{120 \cdot EJ}, \quad (8)$$

$$\Delta f_e = \frac{N_c \cdot l^2 \cdot e}{8 \cdot EJ}. \quad (9)$$

(6–9) formulė analizė parodo, kad ašinė gniuždomoji jėga N_c turi dvejopą poveikį sijos įlinkiams. Ašinė gniuždomoji jėga, įvertinant pradinį sijos įlinkį $w_0(x)$, didina bendruosius poslinkius, o necentrinis jos pridėjimas šiuos poslinkius mažina.

Būtina pažymėti, kad viršutinės juostos ašinė jėga apskaičiuojama, atsižvelgiant į nedeforuotą schemą, pagal tokią žinomą išraišką:

$$N_c = \frac{(q_0 + p) \cdot (L)^2}{8 \cdot f}, \quad (10)$$

čia $L = 2l$ – bendrasis paspyrinės konstrukcijos tarpatramis.

4. Įrašų reguliavimas paspyrinėje sistemoje

4.1. Simetrinė apkrova

Kaip jau buvo minėta, sijos laikomoji galia iki rekonstrukcijos buvo tikrinama kaip lenkiamojo elemento pagal STR 2.05.08:2005 [20]. Akivaizdu, kad po rekonstrukcijos lenkiamasis momentas sijoje, kai $e \leq \Delta f_0$, padidės, o kartu, atsižvelgiant į veikiančią gniuždomąją jėgą, padidės ir bendrieji jos įtempiai. Siekiant užtikrinti, kad paspyrinės sistemos viršutinės juostos laikomoji galia būtų pakankama, lenkiamieji momentai reguliuojami, templates prijungiant necentriškai sijų sunkio atžvilgiu (2 ir 3 pav.). Toks būdas sukuria ties sijų atramomis priešingo ženklo nei tarpatramio viduryje lenkiamuosius momentus (žr. (2) formulę). Jei sijos projektuojamos nekintamo per jos ilgį skerspjuvio aukščio ($h_c = \text{const}$), tai racionalaus momentų sureguliojimo sąlyga bus tokia:

$$|M(x=0)| = |M(x=l/2)|. \quad (11)$$

Pasitelkus (11) sąlygą ir atsižvelgiant į (2) ir (3) formules galima gauti formulę racionaliam ekscentricitetui nustatyti:

$$e_{rac} = \frac{(q_0 + p)l^2}{16N_c} + 0,5 \cdot \Delta f_0. \quad (12)$$

Tada racionalaus lenkiamojo momento reikšmė bus lygi:

$$M_{rac} = \frac{(q_0 + p)l^2}{16} + 0,5 \cdot \Delta f_0 \cdot N_c. \quad (13)$$

Iš (13) formulės matyti, kad paspyrinės sistemos viršutinės juostos racionalus lenkiamasis momentas yra beveik perpus mažesnis už pradinį sijos lenkiamąjį momentą. Tai

leidžia sumažinti bendruosius įtempius viršutinės juostos elementuose. Tačiau būtina pabrėžti, kad racionalus lenkiamųjų momentų paskirstymas dar neužtikrina, kad šių gniuždomųjų ir lenkiamųjų elementų laikomoji galia bus pakankama. Todėl būtina nustatyti didžiausią ašinės gniuždomosios jėgos reikšmę, kuriai esant dar bus tenkinamos elemento skerspjūvio stiprumo sąlygos:

$$N_{c,\max} = N_{pl,Rd} \left[1 - \frac{(q_0 + p)l^2}{16 \cdot M_{c,Rd}} \right] \cdot (1 + \Delta f_0 / \rho)^{-1}, \quad (14)$$

čia: $N_{pl,Rd}$ – skaičiuotinis ašinės jėgos veikiamo skerspjūvio stiprumo atsparis; $M_{c,Rd}$ – skaičiuotinis skerspjūvio lenkiamąjo tampriojo stiprumo atsparis; $\rho = W_y / A$ – elemento skerspjūvio branduolio spindulys.

Kaip jau buvo minėta, ašinės jėgos viršutinėje juostoje reikšmė priklauso nuo paspyrinės sistemos statramsčio aukščio f (žr. (10) formulę). Todėl keisdami jo ilgį galime pasiekti, kad $N_c \leq N_{c,\max}$.

Yra žinoma, kad ašinės jėgos ir lenkiamąjo momento veikiamus elementus būtina tikrinti ne tik stiprumui, bet ir pastovumui, atsižvelgiant į santykinio lyginamojo ekscentriciteto reikšmę $e_{rel, eff}$ [20]. Jei pastovumo sąlyga nebūtų tenkinama, tai derėtų mažinti ašinę jėgą N_c , didinant f . Tiesa, nustatant ekscentriškai gniuždomo elemento klumpumo koeficientą ϕ_e , derėtų pakoreguoti $e_{rel, eff}$, atsižvelgiant į pradinį sijos įlinkį Δf_0 [7].

Būtina pažymėti, kad įrengiant temples, galima susidurti su tam tikromis konstravimo problemomis. Jei viršutinę juostą veiks santykiškai nedidelė ašinė jėga, tai racionalus jos pridėjimo ekscentricitetas gali būti didesnis už pusę jos skerspjūvio aukščio ($e_{rac} > h_c / 2$). Tokiu atveju derėtų parinkti tokį statramsčio aukštį f , kad būtų tenkinama $e_{rac} \leq h_c / 2$. Tada mažiausia ašinės jėgos reikšmė nustatoma pagal tokią formulę:

$$N_{c,\min} = \frac{(q_0 + p)l^2}{8 \cdot (h_c - \Delta f_0)}. \quad (15)$$

Siekiant parinkti racionalų statramsčio aukštį, būtina tenkinti sąlygą $N_{c,\min} \leq N_c \leq N_{c,\max}$.

4.2. Asimetrinė apkrova

Tikrinant viršutinės juostos elementų laikomąją galią būtina atsižvelgti ir į asimetrinę apkrovą (3 pav.). Šiuo atveju vienas iš elementų bus veikiamas visos apkrovos ($q_0 + p$), kitas – tik nuolatinės (q_0). Akivaizdu, kad gniuždymo jėgos abiejuose elementuose bus lygios, tačiau savo reikšmė mažesnės už ašinę jėgą esant simetrinei apkrovai ($N_{c,as} < N_c$). Jei yra žinomas laikinos ir nuolatinės apkrovų santykis $\gamma = p / q_0$, tai ašinė jėga asimetriniu apkrovimo atveju apskaičiuojama taip:

$$N_{c,as} = N_c(1 + 0,5 \cdot \gamma) / (1 + \gamma). \quad (16)$$

Tada apkrauto visa apkrova ($q_0 + p$) elemento lenkiamasis momentas tarpatriamo viduryje ($x = l / 2$) bus lygus:

$$M_{as}(x = l / 2) = \frac{(q_0 + p)l^2}{16} \left[2 - \frac{(1 + 0,5 \cdot \gamma)}{(1 + \gamma)} \right] + N_{c,as} \frac{\Delta f_0 (1 + 0,5 \cdot \gamma)}{2 (1 + \gamma)}. \quad (17)$$

(17) formulės analizė parodo, kad lenkiamasis momentas asimetrinio apkrovimo atveju yra didesnis už racionalųjį momentą esant simetrinei apkrovai ($M_{as} > M_{rac}$). Lenkiamasis momentas ties elemento atramomis bus lygus:

$$M_{as}(x = 0) = \left(\frac{q_0 + p}{16} l^2 + 0,5 N_c \Delta f_0 \right) \frac{(1 + 0,5 \cdot \gamma)}{(1 + \gamma)}. \quad (18)$$

Iš (17) ir (18) formulėlių aišku, kad asimetrinės apkrovos atveju viršutinės juostos elemento lenkiamasis momentas tarpatriamo viduryje yra didesnis už momentą jo galuose. Kaip matome, sumažėjus ašinei jėgai pažeidžiama lenkiamųjų momentų racionalaus pasiskirstymo sąlyga.

Asimetriškai apkrautos viršutinės juostos elemento ašinė jėga sumažėja, tačiau lenkiamasis momentas padidėja. Bendruosius įtempius šiuo atveju galima apskaičiuoti, atsižvelgiant į apkrovų santykį γ pagal tokią formulę:

$$\sigma_{as} = \frac{N_c (1 + 0,5\gamma)}{A (1 + \gamma)} \left[1 + \frac{\left(\frac{2(1 + \gamma)}{(1 + 0,5\gamma)} - 1 \right) \frac{(q_0 + p)l^2}{16 N_c} + \frac{\Delta f_0}{2}}{\rho} \right]. \quad (19)$$

Ši formulė akivaizdžiai parodo, kad įtempiai sijoje esant asimetrinei apkrovai visada bus didesni už simetrinės apkrovimos sukeltus įtempius. Kitaip tariant, įtempių prieaugis dėl padėjusio momento nebus kompensuojamas įtempių sumažėjimu dėl ašinės jėgos pokyčio. Galime teigti, kad nepalankesnė laikomosios galios požiūriu yra asimetrinė apkrova.

5. Paspyrinės konstrukcijos elgsenos skaitinis modeliavimas

Buvo sudaryta erdvinė strypinė nagrinėjamos paspyrinės konstrukcijos skaičiuojamoji schema (4 ir 5 pav.). Stiprinamųjų sijų ilgis lygus 9,0 m, o bendras konstrukcijos tarpatriamis – 18,0 m. Statramsčio aukštis priimtas lygus 1,7 m.

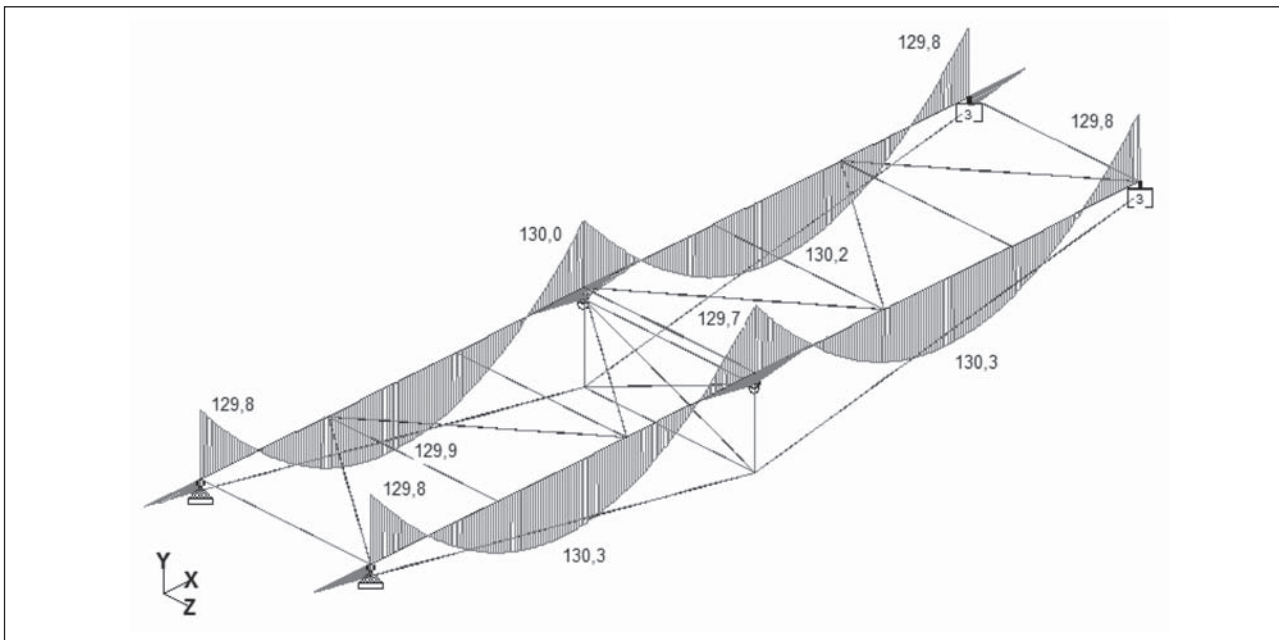
Konstrukcijos viršutinės juostos elementai buvo veikiami nuolatinės $q_0 = 10,4$ kN/m ir laikinos $p = 13,5$ kN/m apkrovų. Sijų skerspjūvis parinktas iš valcuotojo dvitėjo IPE A 450. Paspyrinės konstrukcijos apatinės juostos (templių) ir statramsčių skerspjūviai suprojektuoti iš vamzdinio skerspjūvio.

Buvo skaičiuojama dviem etapais, naudojant programinį paketą „STAAD/Pro“ [21]. Pirmu etapu nagrinėtos viaduko laikančiosios dviatramės sijos iki rekonstrukcijos. Buvo

apskaičiuotos šių sijų įrašos nuo bendrųjų apkrovų ir jų ilinkiai veikiant tik nuolatinėms apkrovoms. Antru etapu nagrinėta paspyrinė rekonstruoto viaduko erdvinė sistema, kurioje apatinės juostos elementai prijungti prie stiprinamų sijų su ekscentricitetu e_{rac} . Šią sistemą skaičiuojant buvo įvertintas stiprinamų sijų pradinis ilinkis nuo nuolatinės apkrovos. Apskaičiuoti tokios sistemos elementų įrašos ir poslinkiai, atsižvelgiant į simetrinę ir asimetrinę apkrovą.

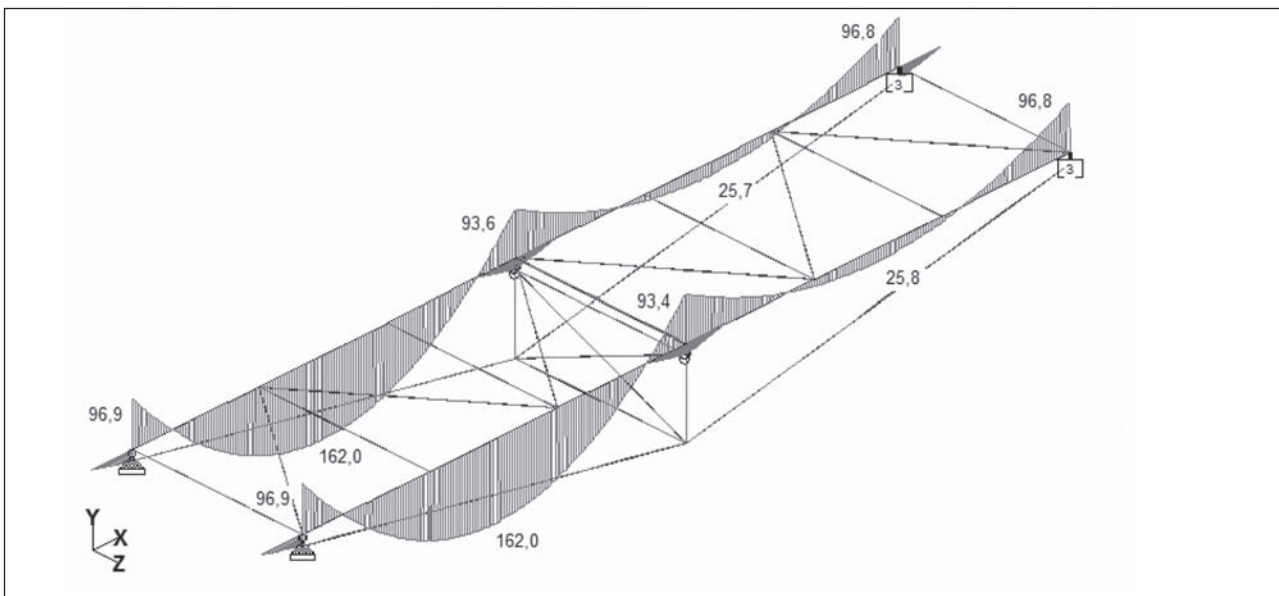
Nustatyta, kad lenkiamieji momentai viršutinės juostos elementuose, esant simetrinei apkrovai, pasiskirto racionaliai, t. y. didžiausios jų reikšmės sijų galuose ir jų tarptračio viduryje yra absoliutiniu didumu praktiškai lygios

(4 pav.). Didžiausias skirtumas tarp šių momentų reikšmių sudaro tik apie 0,5 %. Asimetriškai apkrautoje paspyrinėje sistemoje racionalaus lenkiamųjų momentų pasiskirstymo sijose neišlieka. Didžiausios momentų reikšmės gretimose sijose skiriasi net 1,67 karto (5 pav.). Be to, didžiausios momentų reikšmės sijose, veikiant asimetrinei apkrovai, yra apie 24 % didesnės už simetrinės apkrovos didžiausias momentų reikšmes. Būtina pažymėti, kad sijų ašinių jėgų reikšmės asimetrinės apkrovos atveju yra apie 27 % mažesnės už jų reikšmes veikiant simetrinėms apkrovoms. Nustatyta, kad įtempiai sijose nuo ašinės jėgos ir lenkiamojo momento poveikio yra apie 3,5 % didesni esant asimetrinei



4 pav. Paspyrinės sistemos skaičiuojamoji schema ir lenkiamųjų momentų pasiskirstymas esant simetrinei apkrovai

Fig 4. Distribution of bending moments of design scheme in case of symmetric loading



5 pav. Paspyrinės sistemos skaičiuojamoji schema ir lenkiamųjų momentų pasiskirstymas esant asimetrinei apkrovai

Fig 5. Distribution of bending moments of design scheme under the asymmetric loading

Simetriškai ir asimetriškai apkrautos paspyrinės sistemos sijų išražos ir įtempiai

Internal forces and stresses of beam members of strut-framed structure in cases of symmetric and asymmetric loadings

	Simetrinė apkrova		Asimetrinė apkrova	
	Analitiškai	STAAD	Analitiškai	STAAD
M_{\max}	130,2	130,3	163,1	162,0
N_c	590,8	591,9	430,0	431,1
σ_{\max}	166,9	167,3	172,7	173,2

apkrovai. Pažymėtina tai, kad bendrieji įtempiai sijose kaip gniuždomuosiuose lenkiamuosiuose elementuose yra tiek simetriniu, tiek asimetriniu apkrovimo atvejais apie 8 % mažesni už įtempius, buvusius jose iki rekonstrukcijos. Nagrinėjant konstrukcijos analizės rezultatus nustatyta, kad suteikus lenkiamajam elementui gniuždomąjį poveikį su ekcentricitetu, lenkiančiu elementą priešinga apkrovų veikimo linkme, gaunamas efektas – padidėjusi elemento laikomoji galia.

Lentelėje pateiktos viršutinės juostos elementų išražos, esant simetrinei ir asimetrinei apkrovoms, apskaičiuotos analitiškai ir taikant programinį paketą „STAAD/Pro“ [21]. Palyginus skaičiavimo duomenis nustatytas ne didesnis kaip 1 % išražų nesutapimas.

Būtina pažymėti, kad siūlomas pėsčiųjų viaduko rekonstrukcijos būdas yra techniniu ekonominiu požiūriu veiksmingas. Jei minėtos konstrukcijos būtų rekonstruojamos demontuojant senąsias ir taikant naujas sijas, tai šiuo atveju vien plieno sąnaudos padidėtų apie 1,7 karto.

6. Išvados ir rekomendacijos

1. Pateikiamas konstrukcinis sprendimas sudaro galią vietoje rekonstruojamo dviejų tarpatriamių sijinio pėsčiųjų viaduko, nesustabdant eksploatacijoje, įrengti paspyrinę vieno tarpatriamio sistemą, išsaugant esamas sijas ir paklotą. Tokių stiprinamųjų sijų laikomoji galia bei standumas yra padidinami reguliuojant jose lenkiamuosius momentus.

2. Nustatyta, kad ekscentrinis gniuždymas, sukeltas nagrinėjamame elemente priešingą atsirandančiam nuo apkrovų poveikio lenkiamajį momentą, leidžia padidinti lenkiamąjį elemento laikomąją galią.

3. Pateikiamos formulės racionaliam apatinės juostos prijungimo prie sijų ekscentricitetui nustatyti ir racionaliems lenkiamiesiems momentams jose apskaičiuoti, atsižvelgiant į pradinį (buvusį iki rekonstrukcijos) sijų įlinkį.

4. Nustatyta, kad esant asimetrinei apkrovai neišlieka racionalaus lenkiamųjų momentų pasiskirstymo sijose. Lenkiamųjų momentų reikšmės, palyginti su simetrine apkrova padidėja apie 24 %, o ašinės jėgos sumažėja apie 27 %. Bendrieji įtempiai sijose kaip gniuždomuosiuose lenkiamuosiuose elementuose yra tiek simetrinės, tiek asimetrinės apkrovos atvejais apie 8 % mažesni už įtempius, buvusius jose iki rekonstrukcijos.

5. Siūlomas pėsčiųjų viaduko rekonstrukcijos būdas, palyginti su įprastiniais, leidžia vidutiniškai apie 1,7 karto sumažinti laikančiųjų konstrukcijų plieno sąnaudas.

Literatūra

1. *Manual of Bridges Engineering*. Ed by M. J. Ryall, G. A. R. Parker and J. E. Harding. Thomas Telford, 2000. 1007 p.
2. BANGASCH, M. Y. H. *Prototype Bridge Structures: Analysis and Design*. Thomas Telford, London, 1999. 1195 p.
3. AGÓCS, Z. *Assessment and Refurbishment of Steel Structures*. Abington: Spon Press, 2005. 359 p.
4. XANTHAKOS, P. P. *Bridge Strengthening and Rehabilitation*. Prentice-Hall, New Jersey, 386 p.
5. Durability of Steel Structures under Reconstruction (Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции). Editor E. V. Gorochoy. Moskva: Stroiizdat, 1994. 488 p. (in Russian).
6. *Steel Structures* (Металлические конструкции). Vol 3. Editor V. V. Kuznetsov. Moscow: ACB, 1999. 528 p. (in Russian).
7. Design of Steel Structures. Special Course (Проектирование металлических конструкций. Специальный курс). Ed. V. V. Biriulov. Leningrad: Stroiizdat, 1990. 432 p. (in Russian).
8. FRANGOPOL, M.; ESTES, A. C. Optimum Lifetime Planning of Bridge Inspection and Repair Programs. *Structural Engineering International*, 1999, Vol 9, No 3, p. 219–223.
9. AGOCS, Z.; BRODNIANSKY, J. Assessment of Steel Structures. In *4th European Conference on Steel and Composite Structures*. Maastricht, The Netherlands, June 8–10, 2005. Vol B, p. 4.1-11–4.1-18.
10. PHARES, B. M.; WIPF, T. J.; WAYNE KLAIBER, F.; AHMAD ABU-HAWASH; YOON-SI LEE. Strengthening of Steel Girder Bridges Using FRP. In *Proceedings of the 2003 Mid-Continent Transportation Research Symposium*. Ames, Iowa, Aug 2003.
11. DALY, A. F.; WITARNAWAN, W. Strengthening of Bridges using External Post-tensioning. In *Proceedings of the 2nd Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies*. Seoul, Korea, 29–31 Oct 1997.
12. SUZUKI, T.; WAKATSUKI, K. Countermeasure using kingpost cables against subsidence of PC box girder with central hinge. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*, 18–22 Oct 2004, Kyoto, Japan, p. 911–912. +CD 8p.
13. KITADA, TA.; MATSUMARA, M.; KITADA, TO. Experimental study on strengthening of superannuated steel bridge girders by installing pre-tensioned CFRP sheets. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*, 18–22 Oct 2004, Kyoto, Japan, p. 427–429. +CD 8p.
14. COLLINGS, D. *Steel-concrete composite bridges*. Thomas Telford, London, 2005. 183 p.
15. STRASSKY, J. *Tress Ribbon and Cable-Supported Pedestrian Bridges*. Thomas Telford, London, 2005. 232 p.
16. SCHLAICH, J.; BERGERMAN, R. *Fußgängerbrücken*. Zürich (ETH): Schwabische Drückerei GmbH, 1992. 93 p.

17. CONZETT, J. The Traversina Footbridge Switzerland. *Structural Engineering International*, 1997, Vol 7, No 2, p. 92–94.
18. JUOZAPAITIS, A.; KVEDARAS, A. K. Innovative Structural System of Steel Roofs. *Journal of Constructional Steel Research*, 1999, Vol 49, No 2, p. 213–221.
19. JUOZAPAITIS, A.; VAITKEVIČIUS, V. Struttet Structure for Reconstructing Roofs (Шпренгельная конструкция реконструируемых покрытий). *Statybinių konstrukcijų atnaujinimas ir sustiprinimas. VTU mokslo darbai*, 1995, Nr. 2, p. 73–86.
20. STR 2.05.08:2005. *Statybos techninis reglamentas. Plieninių konstrukcijų projektavimas. Pagrindinės nuostatos.*
21. *STAAD/Pro Structural Analysis and Design Software, Research Engineers Ltd. Reference Manual.* 2004. 726 p.

Algirdas JUOZAPAITIS. Assoc Prof at the Dept of Bridges and Special Structures, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. PhD. Author and co-author of more than 40 publications. Research interests: non-linear analysis of steel bridges and special structures.

Gintas ŠAUČIUVĖNAS. Assoc Prof at the Dept of Steel and Timber Structures, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. PhD. Author and co-author of more than 10 publications. Research interests: assessment and refurbishment of steel structures .

Juozas NAGEVIČIUS. Assoc Prof, PhD. Dept of Structural Mechanics, Vilnius Gediminas Technical University. Author and co-author of 2 manuals and over 40 scientific articles. Participant of intern conferences. Research interests: elastic-plastic analysis and optimization of structures, numerical methods in structural mechanics. Lithuanian State Research Prize winner (1993).