

Civil engineering
Statybos inžinerijaVIENO TARPATRAMIO KABAMOSIOS KOMBINUOTOS STYGINĖS
PLIENO KONSTRUKCIJOS SKAITINĖ ANALIZĖ

Edmundas BEIVYDAS*

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2018 m. birželio 15 d.; priimta 2018 m. lapkričio 5 d.

Santrauka. Straipsnyje aptariama vieno tarpatramio kombinuotos styginės konstrukcijos elgsena, kai styga ir pagalbinis lynas absoliučiai lankstūs elementai. Analizuojama tokios konstrukcijos elgsena veikiant simetrinei ir asimetrinei apkrovoms. Nagrinėjama stygos įtaka tampriesiems ir kinematinėms poslinkiams. Keičiant stygos ir pagalbinio lyno ašinių standžių santykį ir pagalbinio lyno pradinį įsvyrį, analizuojami konstrukcijos tamprieji ir kinematiniai poslinkiai, ieškomi racionaliausi variantai ir pateikiamos komponavimo rekomendacijos.

Reikšminiai žodžiai: tiltai, kabamosios konstrukcijos, kinematiniai poslinkiai, tamprieji poslinkiai, styga, analizė.

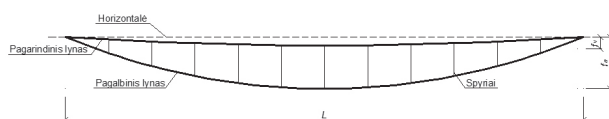
Įvadas

Vienauosčiai kabamieji tiltai yra vieni seniausių tiltų istorijoje. Prireikus patekti iš vienos upės, tarpeklio ar kitos kliūtis pusės, vienajuosčiai tiltai buvo gaminami iš organinių lynų (Juozapaitis, Grigorjeva, Sandovič ir Mišūnaitė, 2012). Šiais laikais vienajuostėms konstrukcijoms naudojami daug inovatyvesni sprendimai, t. y. stiprusis plienas, supinti lynai, anglies pluoštas ir kitos inovatyvios medžiagos (Bleicher, 2011; Salamak ir Markocki, 2012; Strasky, 2005; Kulbach, 2007). Tokių konstrukcijų trūkumas yra didelis deformatyvumas nuo asimetrinių apkrovų, t. y. kinematinės kilmės poslinkiai (Kulbach, 1999; Katchurin, 1969). Kinematinėms poslinkių lyne visiškai neatsiranda, kai lynas neturi pradinio įsvyrį, t. y. kai naudojamas elementas styga (Linkutė, 2015). Siekiant išgauti kuo efektyvesnę sistemą, vienajuosčiai tiltai yra kombinuojami į dvijuosčius, kai sistemą sudaro 2 tarp nepaslankių atramų įtvirtinti lynai, su skirtingais pradiniais įsvyriais, kurie tarpusavyje gali būti sujungti statramsčiais (Sandovič ir Juozapaitis, 2012).

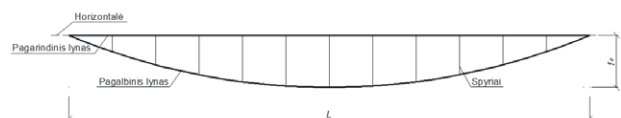
Siekiant kuo efektyvesnės konstrukcijos, vienajuostis tiltas gali būti kombinuojamas su styga (Unitsky, 2006). Styga ne tik sumažintų kinematinės poslinkius konstrukcijoje, atsiradusius dėl asimetrinės apkrovos, tačiau ir suformuotų tiesės apybraižą transportui judėti (2 paveikslas), tai leistų, naudojant tokio tipo konstrukcijas, organizuoti eismą ne tik pėstiesiems, bet ir įvairiam transportui, tokiam kaip automobiliai, traukiniai ir t. t.

Būtina pažymėti, kad tokio tipo konstrukcijose viršutinis elementas styga gali būti iš anksto įtemptas, tai leistų reguliuoti įrašas konstrukcijoje (Linkutė, 2015).

Kombinuotoje styginėje sistemoje pagrindiniai parametrai yra pradinis apatinio lyno įsvyris, apatinio ir viršutinio lyno ašinių sandžių santykiai ir stygos išankstinė įtempimo jėga. Straipsnyje toliau bus analizuojami kombinuotos styginės sistemos poslinkiai įvertinant minėtuosius parametrus.



1 paveikslas. Dvijuostė sistema
Figure 1. Two-span system



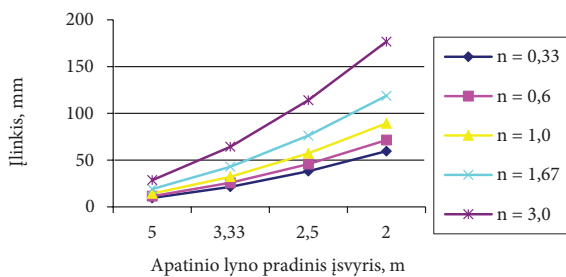
2 paveikslas. Kombinuota styginė sistema
Figure 2. Combined string structure

*Autorius susirašinėti. El. paštas edmundas.beivydas@vgtu.lt

1. Vieno tarpatramio kombinuotos styginės sistemos poslinkių analizė, kai styga ir apatinis lynas absoliučiai lankstūs elementai, apkrova – simetrinė

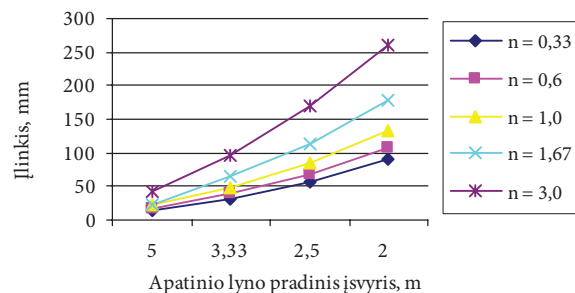
Analizuojant kombinuotą styginę konstrukciją, ši modeliuojama vienoje plokštumoje, naudojantis BEM programa *Autodesk Robot structural analysis*. Pasirenkamas fiksuotas konstrukcijos tarpatramis $L = 50$ m ir atstumai tarp spyrių – 5 m (žiūrėti 2 paveikslą).

Nagrinėjamas simetrinės apkrovos atvejis, kai nuolatinė apkrova 2,5 kN/m, o kintamoji 5–10 kN/m. Keičiant stygos ir apatinio lyno ašinius standžius, nagrinėjami poslinkių pokyčiai priklausomai nuo apatinio lyno pradinio įsvyrio. Čia $n = Av/Aa$, $Aa = Av = [50:150]$ cm².



3 paveikslas. Vertikalių poslinkių priklausomybė nuo apatinio lyno pradinio įsvyrio, kai apkrova 5,0 kN/m

Figure 3. The dependence of vertical displacement on the initial roughness of the lower cable at a load of 5.0 kN/m



4 paveikslas. Vertikalių poslinkių priklausomybė nuo apatinio lyno pradinio įsvyrio, kai apkrova 7,5 kN/m

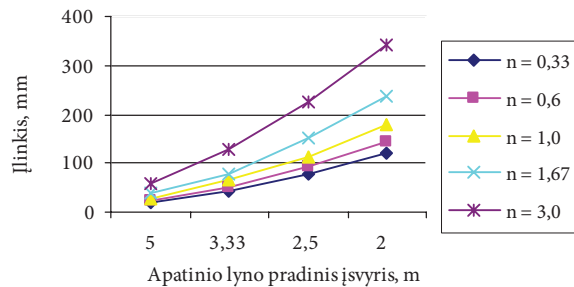
Figure 4. The dependence of vertical displacement on the initial roughness of the lower cable at a load of 7.5 kN/m

3–5 paveiksluose matyti, kad mažėjant apatinio lyno pradiniam įsvyriui konstrukcijos įlinkis didėja.

Lyginant, kai apatinio lyno pradinis įsvyris 5,0 m ir 2,0 m, įlinkiai skiriasi 6,18–6,24 karto, esant tiems patiems ašiniams standžiams, ir poslinkių kitimas nėra visiškai tiesinis. Taip pat matyti, kad apkrovos intensyvumas visiškai neturi įtakos konstrukcijos poslinkių formai.

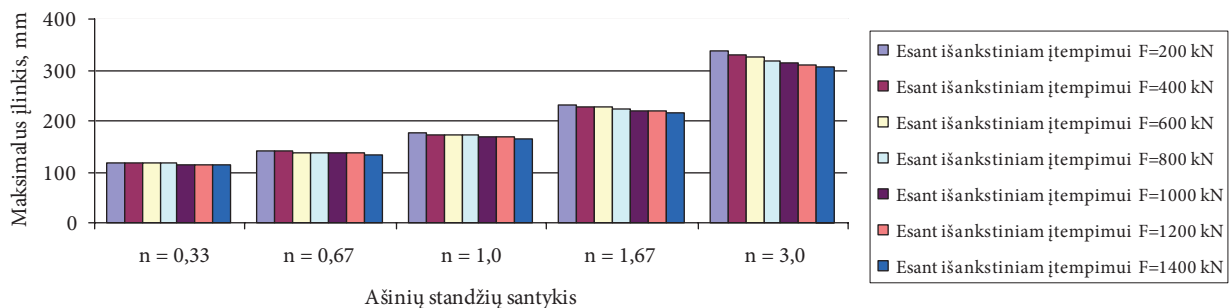
Kai konstrukcijos pradinis įsvyris yra 5 m, esant ašinių standžių santykiui nuo 0,33 iki 3,0, gaunamas įlinkių skirtumas yra 3 kartai, imant, kai pradinis įsvyris 2 m, o ašinių standžių santykis nuo 0,33 iki 3,0, įlinkiai skiriasi taip pat 3 kartus (3–5 paveikslai). Taip pat matyti, kad keičiant apatinio lyno pradinį įsvyrį ar ašinių standžių santykį, poslinkiai kinta netiesiškai. Visuose trijuose paveiksluose (3, 4 ir 5 paveikslai) matyti, kad nepriklausomai nuo apkrovos intensyvumo, konstrukcijos elgsena nesikeičia – keičiasi tik poslinkių absoliutieji dydžiai, kurie kinta tiesiškai. Taip pat matyti, kad didinant stygos ašinių standžių poslinkiai konstrukcijoje didėja. Taip yra dėl to, kad beveik visą apkrovą simetrinės apkrovos atveju perima apatinis lynas, todėl, mažinant jo skerspjūvio plotą, įtempiai lyno ir tamprieji poslinkiai padidėja, tai sukelia didesnius poslinkius visoje konstrukcijoje.

Siekiant parodyti stygos įtaką tilto poslinkių eglsenai, kai apkrova simetrinė, pateikiama konstrukcijos įlinkio priklausomybė nuo stygos išankstinio įtempimo (6 paveikslas). Jau anksčiau pastebėta, kad konstrukcijos poslinkiai didžiausi esant mažiausiam apatinio lyno pradiniam įsvyriui ($L/25$),



5 paveikslas. Vertikalių poslinkių priklausomybė nuo apatinio lyno pradinio įsvyrio, kai apkrova 10 kN/m

Figure 5. The dependence of vertical displacement on the initial roughness of the lower cable at a load of 10 kN/m



6 paveikslas. Poslinkių priklausomybė nuo stygos išankstinio įtempimo ir ašinių standžių santykio

Figure 6. The dependence of displacements on the pre-tension of the string and the axial stiffness ratio

o mažiausi – esant didžiausiam pradiniam apatinio lyno išsvyriui (L/10). 6 pav. matyti, kad didesnę įtaką įlinkiams išankstinė įtempimo jėga turi, kai pagalbinio lyno pradinis išsvyris yra mažesnis (L/25). Esant pagalbinio lyno išsvyriui $L/10 = 5$ m, iš anksto įtempus stygą papildoma 1400 kN jėga, įlinkis sumažėja vos 3,1 proc. Esant pagalbinio lyno pradiniam išsvyriui $L/25 = 2,0$ m, iš anksto įtempus stygą 1600 kN jėga, įlinkis sumažėja 14,1 proc. Visgi papildomas išankstinis įtempimas labai padidina skėtimo jėgas atramos. Norint pasiekti 14,1 proc. įlinkio sumažinimą, skėtimo jėga padidėtų 40 proc. Galima daryti prielaidą, kad stygai taikyti išankstinį įtempimą, kai apkrova yra simetrinė, yra visiškai nenaudinga, nes išankstinis įtempimas pastebimos įtakos turi tik tada, kai pagalbinio lyno išsvyris pats mažiausias (L/25), ašinių standžių santykis mažiausias (0,3).

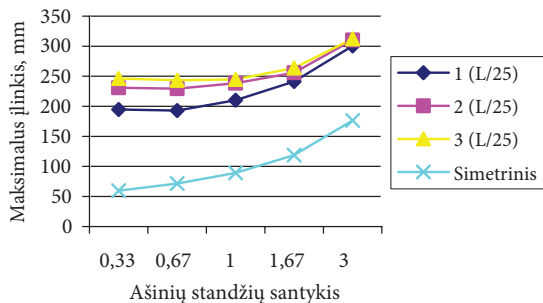
2. Vieno tarpatramio kombinuotos styginės sistemos poslinkių analizė, kai styga ir apatinis lynas absoliučiai lankstūs elementai, apkrova – asimetrinė

Nagrinėjant asimetrinį poveikį kombinuotai styginei konstrukcijai, daugiausia dėmesio krepiama į kintamosios ir nuolatinės apkrovų santykį, kai skėtimo jėgos ir tampriosios deformacijos išlieka nepakitusios.

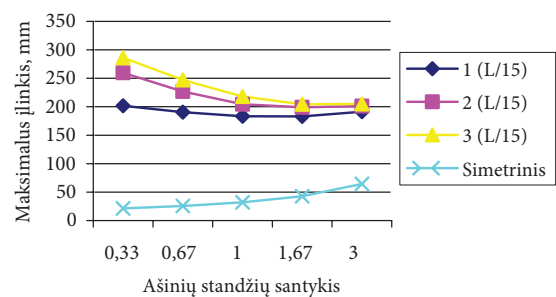
7–10 paveiksluose matyti, kad, kai pradinis apatinio lyno išsvyris yra 5,0 m, esant didžiausiam stygos ašiniams standžiui ($n = 3,0$), įlinkiai nuo asimetrinės apkrovos mažėja, t. y. kai stygos skerspjūvio plotas 150 cm^2 , o apatinio lyno 50 cm^2 , poslinkiai nuo atvejo, kai stygos plotas 50 cm^2 , o apatinio lyno 150 cm^2 , skiriasi 48,6 proc., kai kintamosios ir nuolatinės apkrovų santykis 1, 60,87 proc., kai 2, ir 64,44 proc., kai 3. Kai pradinis apatinio lyno išsvyris yra 2,0 m, esant analogiškai situacijai, poslinkiai skiriasi 54,35 proc., kai kintamosios ir nuolatinės apkrovų santykis 1, 34,53 proc., kai 2, ir 26,91 proc., kai 3.

Mažinant apatinio lyno pradinį išsvyrį, konstrukcija elgiasi panašiai kaip ir simetrinės apkrovos atveju – didinant stygos ašinių standžių santykį, bendrasis konstrukcijos įlinkis didėja. Kadangi grafikuose matyti palyginimas su simetrine apkrova esant tiems patiems įtempimams, konstrukcijoje nepasireiškia papildomi tamprieji poslinkiai. Visas įlinkių prieaugis atsiranda dėl kinematinųjų poslinkių, t. y. tilto susivartymo. Žvelgiant į visus keturis atvejus, parodytus 7–10 paveiksluose, kai apatinio lyno išsvyris yra nuo L/10 iki L/25, ir palyginus simetrinio ir asimetrinio įlinkių skirtumus, galima palyginti, kuriam pradiniam apatinio lyno išsvyriui esant konstrukcija susivarto labiausiai.

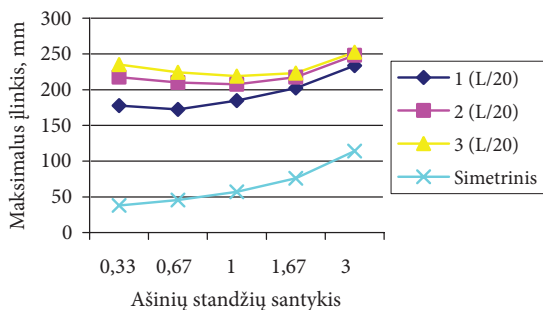
11–13 paveiksluose pateikiami grafikai kinematinųjų poslinkių nuo ašinių standžių santykio priklausomybei parodyti, kai pradinis apatinio lyno išsvyris L/10–L/25, o kintamosios ir nuolatinės apkrovos santykis $Y = 1, 2, 3$.



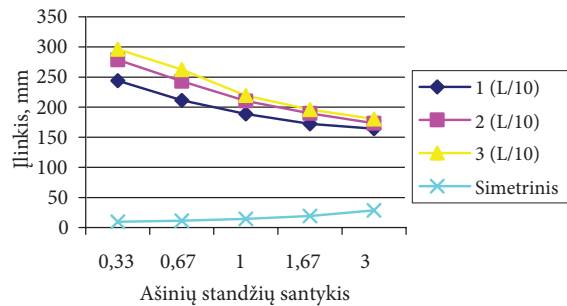
7 paveikslas. Kinematinųjų poslinkių priklausomybė nuo ašinių standžių santykio, kai apatinio lyno pradinis išsvyris L/25
Figure 7. The dependence of kinematic displacements on the ratio of axial stiffness when the initial rope intersects L/25



9 paveikslas. Kinematinųjų poslinkių priklausomybė nuo ašinių standžių santykio, kai apatinio lyno pradinis išsvyris L/15
Figure 9. The dependence of kinematic displacements on the ratio of axial stiffness when the initial rope intersects L/15

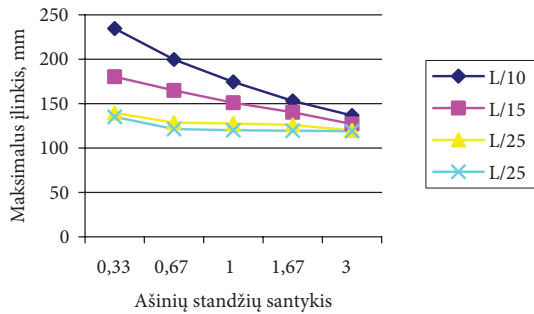


8 paveikslas. Kinematinųjų poslinkių priklausomybė nuo ašinių standžių santykio, kai apatinio lyno pradinis išsvyris L/20
Figure 8. The dependence of kinematic displacements on the ratio of axial stiffness when the initial rope intersects L/20



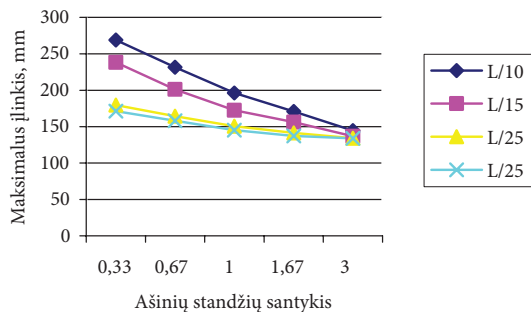
10 paveikslas. Kinematinųjų poslinkių priklausomybė nuo ašinių standžių santykio, kai apatinio lyno pradinis išsvyris L/10
Figure 10. The dependence of kinematic displacements on the ratio of axial stiffness when the initial rope intersects L/10

Grafikai puikiai atskleidžia stygos privalumą kombinuotoje styginėje konstrukcijoje. Simetrinės apkrovos atveju styga praktiškai neturėjo jokios įtakos konstrukcijos poslinkiams, o asimetrinės apkrovos atveju styga turi didelę įtaką konstrukcijos deformacijoms. Kai kintamosios ir nuolatinės apkrovos santykis $Y = 1$, mažiausiai kinematiniai poslinkiai pasireiškia, kai apatinio lyno pradinis įsvyris mažiausias ($L/25$). Taip pat matoma, kad asimetrinės apkrovos



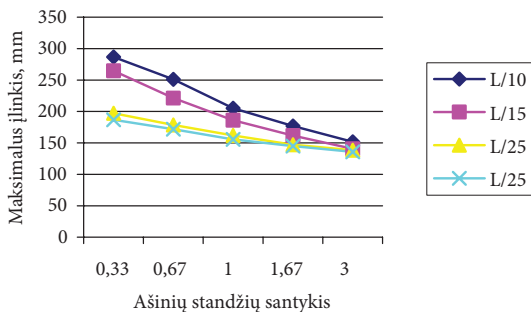
11 paveikslas. Kinematinųjų poslinkių priklausomybė nuo ašinių standžių santykio, kai kintamosios ir nuolatinės apkrovos santykis $Y = 1$

Figure 11. The dependence of kinematic displacements on the axial stiffness ratio, when the live and dead load ratio $Y = 1$



12 paveikslas. Kinematinųjų poslinkių priklausomybė nuo ašinių standžių santykio, kai kintamosios ir nuolatinės apkrovos santykis $Y = 2$

Figure 12. The dependence of kinematic displacements on the axial stiffness ratio, when the live and dead load ratio $Y = 2$



13 paveikslas. Kinematinųjų poslinkių priklausomybė nuo ašinių standžių santykio, kai kintamosios ir nuolatinės apkrovos santykis $Y = 3$

Figure 13. The dependence of kinematic displacements on the axial stiffness ratio, when the live and dead load ratio $Y = 3$

atveju didelę įtaką turi ašinių standžių santykis. Esant didžiausiam stygos ašiniui standžiui ($n = 3,0$), konstrukcija efektyviausiai priešinasi kinematinėms poslinkiams. Kai apatinio lyno pradinis įsvyris yra $L/10$, esant minimaliam ($n = 0,3$) ir maksimaliam ($n = 3,0$) stygos ašiniui standžiui, kinematiniai poslinkiai absoliučiuoju dydžiu skiriasi 1,7 karto. Mažinant apatinio lyno pradinį įsvyrį, kinematiniai poslinkiai yra stabilizuojami. Šiuo atveju minimalus ir maksimalus poslinkiai skiriasi tik 1,14 karto.

Didėjant kintamosios ir nuolatinės apkrovų santykiui, kinematinųjų poslinkių ekstremumų skirtumai auga. Kai $Y = 2$, o apatinio lyno pradinis įsvyris $L/10$, priklausomai nuo ašinių standžių santykio, minimalus ir maksimalus poslinkiai skiriasi 1,86 karto, o esant pradiniam įsvyriui $L/25$ jau 1,28 karto. Kai $Y = 3$, o apatinio lyno pradinis įsvyris $L/10$, minimalus ir maksimalus poslinkiai skiriasi 1,89 karto, o esant pradiniam įsvyriui $L/25$ – jau 1,37 karto.

Visgi pastebima ir tai, kad nepriklausomai nuo kintamosios ir nuolatinės apkrovų santykio, kai stygos ašinis standis didžiausias, o pradinis apatinio lyno įsvyris $L/10$, minimalus ir maksimalus poslinkiai skiriasi iki 11 proc., o esant pradiniam apatinio lyno įsvyriui $L/25$ – iki 16,5 proc.

Taigi, esant asimetrinei apkrovai, efektyviausiai kinematiniai poslinkiai suvaržomi, kai stygos ašinis standis 3 kartus didesnis už apatinio lyno ašinį standį, o apatinio lyno pradinis įsvyris yra mažiausias. Visgi, esant mažiausiam ($L/25$) ir didžiausiam ($L/10$) pradiniam apatinio lyno įsvyriui ir didžiausiam stygos ašiniui standžiui ($n = 3,0$), tarpieji poslinkiai skiriasi 6,17 karto, todėl efektyviausia konstrukcija, kai apatinio lyno pradinis įsvyris yra $L/10$, o stygos ašinis standis 3 kartus didesnis už apatinio lyno pradinį įsvyrį. Minimalus ir maksimalus poslinkiai, kai apatinio lyno pradinis įsvyris $L/10$, o kintamosios ir nuolatinės apkrovos santykis nuo 1 iki 3, skiriasi 9,7 proc.

Išvados

Atlikus kombinuotos styginės sistemos analizę, kai apkrova simetrinė, gauta: mažėjant apatinio lyno pradiniam įsvyriui – konstrukcijos poslinkis didėja. Lyginant, kai apatinio lyno pradinis įsvyris 5,0 m ir 2,0 m, įlinkiai skiriasi 6,18–6,24 karto, esant stygos ir apatinio lyno ašinių standžių santykiams nuo 0,3 iki 3,0.

Keičiant ašinių standžių santykį nuo 0,3 iki 3,0, nepriklausomai nuo apatinio lyno pradinio įsvyrio, poslinkiai sistemoje padidėja iki 3 kartų.

Išankstinis įtempimas stygoje, kai apkrova simetrinė, visiškai nenaudingas. Norint sumažinti poslinkį bent 15 proc., skėtimo jėga konstrukcijos atramos padidėja 40 proc.

Atlikus kombinuotos styginės konstrukcijos analizę, esant asimetrinei apkrovai, gauti toliau pateikti rezultatai.

Kai pradinis apatinio lyno įsvyris yra 5,0 m, esant didžiausiam stygos ašiniui standžiui ($n = 3,0$), poslinkiai nuo asimetrinės apkrovos mažėja, t. y. kai stygos skerspjūvio plotas 150 cm^2 , o apatinio lyno 50 cm^2 , poslinkiai nuo atvejo, kai stygos plotas 50 cm^2 , o apatinio lyno 150 cm^2 , skiriasi 48,6 proc., kai kintamosios ir nuolatinės apkrovų santykis 1, 60,87 proc., kai 2, ir 64,44 proc., kai 3. Kai pradinis apatinio

lyno įsvyris yra 2,0 m, esant analogiškai situacijai, poslinkiai skiriasi 54,35 proc., kai kintamosios ir nuolatinės apkrovų santykis 1, 34,53 proc., kai 2, ir 26,91 proc., kai 3.

Esant asimetrinei apkrovai ir pasireiškiant kinematiniais poslinkiams, efektyviausiai kinematiniai poslinkiai suvaržomi, kai stygos ašinis standis 3 kartus didesnis už apatinio lyno ašinį standį, o apatinio lyno pradinis įsvyris yra mažiausias ($L/25$). Visgi, esant mažiausiam ($L/25$) ir didžiausiam ($L/10$) pradiniam apatinio lyno įsvyriui ir didžiausiam stygos ašiniam standžiui ($n = 3,0$), tampręji poslinkiai skiriasi netgi 6,17 karto, todėl efektyviausia naudoti konstrukciją su didesniu apatinio lyno pradiniu įsvyriui $L/10$, pasirenkant didžiausią stygos ašinį standį ($n = 3,0$). Priklausomai nuo kintamosios ir nuolatinės apkrovos santykio, minimalus ir maksimalus poslinkiai, kai apatinio lyno pradinis įsvyris $L/10$, o kintamosios ir nuolatinės apkrovos santykis nuo 1 iki 3, skiriasi 9,7 proc.

Kai apatinio lyno pradinis įsvyris $L/10$, įtempus stygą papildoma 1000 kN jėga, kinematinis poslinkis, nuo atvejo, kai styga iš anksto neįtempta, skiriasi nuo 2,53 ($n = 0,3$) iki 4,05 ($n = 3,0$) karto, priklausomai nuo ašinių standžių santykio. Įtempus 1600 kN poslinkis skiriasi nuo 3,14 ($n = 0,3$) iki 5,15 ($n = 3,0$) karto.

Kai apatinio lyno pradinis įsvyris $L/25$, įtempus stygą papildoma 1000 kN jėga, kinematinis poslinkis nuo atvejo, kai styga iš anksto neįtempta, skiriasi nuo 1,25 ($n = 0,3$) iki 1,34 ($n = 3,0$) karto, priklausomai nuo ašinių standžių santykio. Įtempus 1600 kN poslinkis skiriasi nuo 1,33 ($n = 0,3$) iki 1,5 ($n = 3,0$) karto.

Efektyviausia konstrukcija yra gaunama esant didžiausiam apatinio lyno pradiniam įsvyriui bendriesiems poslinkiams sumažinti. Siekiant suvaržyti kinematinius poslinkius – stygos ašinis standis rekomenduotinas 3 ir daugiau kartų didesnis už apatinio lyno. Siekiant papildomai suvaržyti kinematinius poslinkius, styga gali būti iš anksto įtempta, tai yra vienas efektyviausių būdų konstrukcijai stabilizuoti, esant vertikaliai tinkleliui.

Kombinuotos sistemos vertikalių tinklelių papildžius pasviraisiais tempiamais lynais gauti toliau pateikti rezultatai.

Lyginant konstrukciją su kryžminiu ir konstrukciją su vertikaliu tinkleliu, kinematiniai poslinkiai smarkiai suvaržomi. Kai tinklelis buvo vertikalus, tamprųjų ir kinematinųjų poslinkių skirtumai esant didžiausiam apatinio lyno pradiniam įsvyriui ($L/10$) skyrėsi netgi nuo 24 iki 28 kartų, o esant mažiausiam apatinio lyno pradiniam įsvyriui ($L/25$) – nuo 1,3 iki 1,5 karto (verta paminėti, kad buvo gauti sąlygiškai dideli įlinkiai ir nuo simetrinės apkrovos), o esant kryžminiam tinkleliui maksimalūs kinematiniai poslinkiai pačiu nepalankiausiu atveju ($L/25$, $n = 0,3$) sudaro iki 30 proc. nuo suminių poslinkių, o vidutinis kinematinųjų poslinkių dydis, imant visus nagrinėtus variantus, iki 10 proc. nuo suminių poslinkių.

Nagrinėjant atvejį, kai atsižvelgiama tik į apkrovos intensyvumą, esant kryžminiam konstrukcijos tinkleliui, beveik visais atvejais poslinkiai asimetrinės apkrovos atveju yra mažesni. Kadangi pavojingesniu atveju tampa simetrinė apkrova, preliminariam konstrukcijos projektavimui užtenka analitinio metodo, taikomo esant simetrinėms apkrovoms.

Ištyrus lyginamąjį ekonominį techninį efektyvumą styginės, kombinuotos styginės su vertikaliu tinkleliu ir kombinuotos styginės su kryžminiu tinkleliu konstrukcijos atveju, gauta, kad, parinkus realius skerspjūvius, kombinuota styginė sistema 6,7 karto lengvesnė už tokio pat tarpatramio paprastą styginę konstrukciją.

Literatūra

- Bleicher, A. (2011). *Aktive Schwingungskontrolle einer Spannbandbrücke mit pneumatischen Aktuatoren*. Von der Fakultät VI – Planen Bauen Umwelt der Technischen Universität Berlin zur Erlangung des akademischen Grades.
- Juozapaitis, A., Grigorjeva, T., Sandovič, G. ir Misiūnaitė, I. (2012). *Plieno tiltų inovatyvūs konstrukciniai sprendiniai*. Vilnius: Technika.
- Kulbach, V. (2007). *Cable structures. Design and analysis*. Tallin: Estonian Academy Publisher.
- Kulbach, V. (1999). Half-span loading of cable structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 49(2), 167-180. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(98\)00215-6](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(98)00215-6)
- Katchurin, V. K. (1969). *Static Design of cable structures*. Leningrad: Stroyizdat.
- Linkutė, E. (2015). *Iš anksto įtemptų styginių plieno tiltų kompozavimas ir elgsenos analizė: magistro darbas*. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas.
- Sandovič, G., & Juozapaitis, A. (2012). The analysis of the behaviour of an innovative pedestrian steel bridge. In *Procedia Engineering Steel Structures and Bridges 2012: 23rd Czech and Slovak International Conference* (Vol. 40). Amsterdam: Elsevier Science Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.117>
- Strasky, J. (2005). *Stress-ribbon and supported cable pedestrian bridges*. London: Thomas Telford Ltd. <https://doi.org/10.1680/sracspsb.32828>
- Salamak, M., & Markocki, B. (2012). *Trwałość konstrukcji wstęgowej z betonem sprężonego w świetle próbných badań kładki pieszo – jezdnej w m. lubień* (pp. 22-23). Wrocławskie Dni Mostowe Trwałość obiektów mostowych Wrocław.
- Unitsky, A. (2006). *String Transport Unitsky in questions and answers*. Russia: Moscow.

STRUCTURAL ANALYSIS OF ONE-SPAN SUSPENSION COMBINED STRING STEEL BRIDGE

E. Beivydas

Abstract

The Journal discusses the behavior of a single-span composite string structure, when the string and the supporting rope are absolutely flexible elements. The behavior of such a structure with symmetric and asymmetric loads is analyzed. The influence of the string on the elastic and kinematic displacements is considered. Changing the ratio between the axial stiffness of the strings and auxiliary rope and the initial rotation of the auxiliary rope, the structure of the elastic and kinematic shifts is analyzed, the most rational variants are sought and the recommendations for composing are presented.

Keywords: bridges, combined structures, kinematic displacements, elastic displacements, string, analysis.