

CALCULATION OF DEFLECTIONS OF HOLLOW CONCRETE-FILLED STEEL TUBULAR MEMBERS OF THREE-HINGE SUSPENSION STRUCTURE

V. Šaraškinas MSc. & A. K. Kvedaras

To cite this article: V. Šaraškinas MSc. & A. K. Kvedaras (2001) CALCULATION OF DEFLECTIONS OF HOLLOW CONCRETE-FILLED STEEL TUBULAR MEMBERS OF THREE-HINGE SUSPENSION STRUCTURE, Statyba, 7:2, 99-105, DOI: [10.1080/13921525.2001.10531710](https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531710)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2001.10531710>



Published online: 30 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 62

KABAMOSIOS TRILANKSTĖS BETONŠERDŽIŲ TUŠČIAVIDURIŲ VAMZDINIŲ PLIENO STRYPŲ KONSTRUKCIJOS ĮLINKIŲ SKAIČIAVIMAS

V. Šaraškinas, A. K. Kvedaras

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

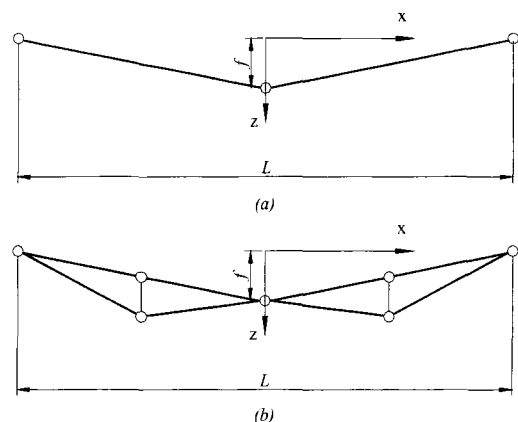
Kabamųjų stogų konstrukcijos yra unikalūs ir neįprasti statiniai. Jų pavidalas bei eksploatacinės savybės suteikia galimybę uždengti labai didelius stogų plotus. Be to, šios konstrukcijos yra ekonomiškos ir lengvos. Mokslinėje literatūroje pastaruoju metu galime rasti informacijos apie naujo tipo trilankstes tiesiastrypes kabamąsias plieno konstrukcijas [1, 2]. Pabrėžiama, kad tokius tiesiuosius standžius lynus gaminti ir montuoti yra gana paprasta, o ant jų sudėtų atitvarų darbo sąlygos yra geros. Tačiau, jeigu konstrukciją veikia simetrinės apkrovos, kurios nesukelia didelių lenkiamųjų momentų bei kinematinų poslinkių, vis dėlto tiesiesiems lynams reikia daugiau medžiagų nei tokios pat paskirties parabolinės apybraižos lynams. Tačiau iš darbuose [1, 2] atliktos analizės matyti, kad kai kuriais kabamųjų stogų konstrukcijų apkrovimo atvejais tiesieji lynai yra efektyvesni už parabolines apybraižos lynus. Didžiausi tiesiųjų lynų įlinkiai, sukelti jų tampraus pailgėjimo, atsiranda, kai visas stogo tarpatramis esti apkrautas išskirstytąja apkrova, sukeliančia dideles skėčiamąsias jėgas.

Tradicinės statybos konstrukcijos, tokios kaip kolonos, sijos ir kt., daugiausia buvo tobulinamos tik dėl to, kad joms naudojamos naujos efektyvios konstrukcinės medžiagos. Kabamųjų konstrukcijų raidą skatino sukurta naujos efektyvios jų konstrukcinės formos arba atrasti efektyvūs jų stabilizavimo būdai. Svarbiausias stogų kabamųjų konstrukcijų papildomų stabilizavimo sistemų naudojimo tikslas paprastai yra padidinti stogo konstrukcijos standumą ir sumažinti neigiamą asimetrinių bei sutelktinių apkrovų veikimą. Tokiam stabilizavimui neretai reikia stipresnių ir daugiau medžiagų bei darbo reikalaujančių atraminių konstrukcijų. Tačiau, kad kabamąją stogo konstrukciją būtų saugu eksploatuoti,

ją būtina stabilizuoti. Kabamojo stogo stabilizavimas priklauso ne tik nuo to, kaip konstrukcija gali būti apkrauta, bet ir nuo to, kokie yra jos laikantieji lynai. Lankstieji lynai paprastai stabilizuojami sunkiomis gelžbetoninėmis stogo perdangų plokštėmis arba išankstiniu jų įtempimu, o standieji – tam tikro didumo jų lenkiamuoju standžiu.

Pasaulyje per pastaruosius 30 metų labai paplito kompozitinės plieno betono konstrukcijos, ypač betonšerdžiai vamzdiniai plieno elementai. Iki šiol nėra informacijos apie tokių elementų taikymą kabamosioms konstrukcijoms. Darbuose [1, 2] nagrinėtų gana paprastų formų (1 pav.) kabamosioms stogų konstrukcijoms gali būti taikomi vieni iš efektyviausių betonšerdžių vamzdinių plieno elementų – centrifuguotieji.

Panaudojus tokius elementus galima nesiiinti jokių papildomų stabilizavimo priemonių ir todėl sumažinti lynų plieno sąnaudas. Lynų metalinio skerspjūvio plotas paprastai esti mažesnis, t. y. tik toks, kokio reikia tempiamosioms įrąžoms atlaikyti, o jų lenkiamąjį standį padidina vamzdyje esanti betono šerdis. Taigi kom-



1 pav. Vienos iš paprasčiausių tiesiastrypės kabamosios konstrukcijos

Fig 1. Simplest straight-line suspension structures

pozitiniai lynai gali būti priskirti prie baigtinio lenkiamąjo standumo kabamųjų elementų, kuriais itin veiksmingai ir paprastai galima mažinti kabamųjų stogų deformuojamumą. Tačiau tam reikia rasti būdų jų poslinkiams apskaičiuoti, nes būtina atsižvelgti į lynų sudėtinį skerspjuvį ir jo komponentų tarpusavio sąveiką, t. y. veiksnius, kurių nėra įprastinių baigtinio lenkiamąjo standumo strypų atveju.

2. Kabamosios konstrukcijos tampriųjų stačiųjų poslinkių skaičiavimas

Skersinės apkrovos veikiami kabamųjų konstrukcijų plieno elementai įlinksta ir jų taškai stačiai pasislenka. Kabamųjų konstrukcijų statieji poslinkiai priklauso nuo kelių veiksnių. Dėl simetrinių ir pusiausvyrų apkrovų atsiradusios skečiamosios jėgos sukelia lynų tampriuosius poslinkius. Jie priklauso nuo šios jėgos didumo ir lyno skerspjuvio ploto. Tariama, kad visame tarpatramyje išskirstytą išorinę apkrovą tolygiai apkrautų lynų poslinkiai tėra tik tamprieji.

Absoliučiai lankstaus lyno, kurio lenkiamasis standis $EJ \rightarrow 0$, tamprieji statieji poslinkiai priklauso ir nuo jo tampraus pailgėjimo ΔS , t. y. nuo lyno skerspjuvio ploto ir jį veikiančios ašinės jėgos. Tokio lyno statieji poslinkiai lengvai nustatomi pagal iteracijų būdu apskaičiuotą vidurinio taško statųjį poslinkį Δf . Tiesiastrypės kabamosios baigtinio lenkiamąjo standumo konstrukcijos (1 pav. a) statieji tamprieji poslinkiai skaičiuojami pagal formulę (1) apskaičiuotą jos liaunumo rodiklį kL [1–3]:

$$kL = \sqrt{HL^2/EJ}, \quad (1)$$

čia H – skečiamoji jėga; L ir EJ – lyno tarpatramis ir lenkiamasis standis.

Kabamosios tiesiastrypės trilankstės konstrukcijos, kuri parodyta 1 pav. a, tamprieji statieji poslinkiai apskaičiuojami [2] iš lygties (2), prieš tai nustačius jos vidurinio taško (lanksto) išvyrį Δf pagal lygtį (3):

$$w = \frac{8(f + \Delta f)}{k^2 L^2} \cdot \left[ch(kx) + \frac{(1 - ch(kL/2))sh(kx)}{sh(kL/2)} - 1 \right] - \frac{4x^2 \cdot (f + \Delta f)}{L^2} + \frac{2f \cdot x}{L} + \Delta f, \quad (2)$$

čia f – lyno vidurinio tarpatramio taško pradinis išvyris; x – nagrinėjamo taško koordinatė išilgai tarpatramio;

$$(f + \Delta f)^2 = \frac{L}{64 \cdot C_0} \left[\frac{2f^2}{L} + \frac{\sigma_0}{E} \left(L + \frac{2f^2}{L} \right) + \Delta L \right], \quad (3)$$

čia C_0 – koeficientas iš [2]; ΔL – atramų gulsčiasis suartėjimas; σ_0 ir E – lyno įtempis ir tamprumo modulis.

Tokią tiesiastrypio lyno poslinkių skaičiavimo eigą galima supaprastinti taikant apytikrį metodą, kaip yra daroma [1]. Tam reikia žinoti, kaip tarpusavyje susieti lyno ilgį ir apkrovą. Konstrukcijos (1 pav. a) vieno tiesiojo strypo ilgį galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$S = l / \cos \alpha, \quad (4)$$

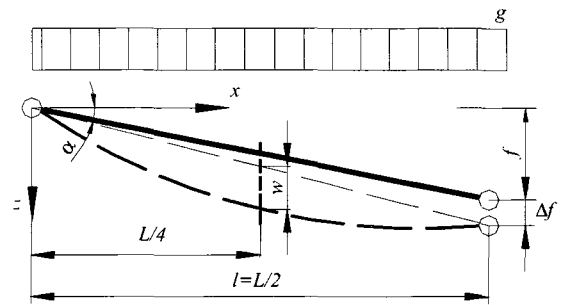
čia l – pusė lyno tarpatramio; α – lyno ašies pradinis polinkio kampas (pagal 2 pav.).

Tolygiai visame tarpatramyje išskirstyta apkrova apkrauto lyno ilgį apytiksliai galima nustatyti pagal formulę, pasiūlytą V. Kačiurino [3], tarus, kad deformuoto lyno apybraiža panaši į kvadratinę parabolę:

$$S_1 = \frac{l}{\cos \alpha_1} + \frac{8w^2}{3l} \cos^3 \alpha_1, \quad (5)$$

$$\alpha_1 = \arctg(f + \Delta f / l), \quad (6)$$

čia w ir Δf – lyno statieji įlinkiai atitinkamai tarpatramio ketvirtyje ir viduryje (pagal 2 pav.).



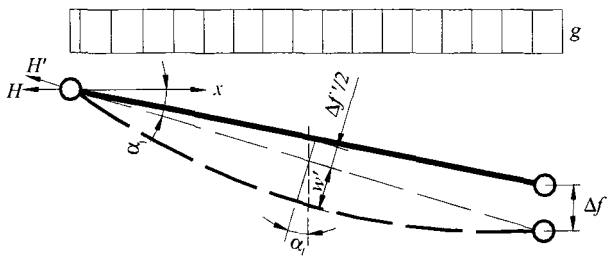
2 pav. Tiesiastrypės trilankstės kabamosios konstrukcijos pradinė ir deformuotoji schemas (parodyta pusė konstrukcijos)

Fig 2. Initial and deformed flow diagrams of straight-line three-hinge suspension structure (shown a half of it)

Veikiančios ašinės jėgos sukeltas lyno tamprusis pailgėjimas gali būti nustatytas [2] pagal formulę:

$$\Delta S \approx \frac{S \cdot H}{EA \cdot \cos \alpha_1}, \quad (7)$$

čia EA – lyno membraninis standis; H – skečiamoji jėga; S – pradinis lyno ilgis; α_1 – kampas pagal 3 pav.



3 pav. Tiesiastrypio lyno skaičiuojamoji schema: H' – lyno tempiamoji jėga; $\Delta f' = \Delta f \cdot \cos \alpha_1$; H – skečiamoji jėga; α_1 – kampas, apskaičiuojamas pagal (6) formulę

Fig 3. Design diagram of straight-line cable: H' – tension force of cable; $\Delta f' = \Delta f \cdot \cos \alpha_1$; H – thrust force; α_1 – angle calculated by formula (6)

Deformuoto ir neapkrauto lyno ilgiai susieti lygtimi:

$$S_1 - S = \Delta S, \quad (8)$$

o konstrukcijos skečiamoji jėga apskaičiuojama [2] pagal formulę:

$$H = g \cdot L^2 / 8(f + \Delta f). \quad (9)$$

Į standaus lyno stačiųjų poslinkių skaičiavimo formules (2) ir (3) įeina ir lyno liaunumo rodiklis kL , kuriuo atsižvelgiama į jo lenkiamąją standžio įtaką. Šiems poslinkiams apskaičiuoti taikant apytikslių metodą, lyno lenkiamasis standis EJ įeina į skečiamosios jėgos H' , nustatomos lyno lokaliųjų koordinatų sistemoje, išraišką:

$$H' = \frac{g \cdot l_1^2}{8 \cdot w' \cos \alpha_1} + \frac{48 \cdot EJ}{5l_1^2}, \quad (10)$$

čia $l_1 = l / \cos \alpha_1$; $w' = w \cdot \cos \alpha_1$.

Atliekant apytikslių metodo iteracinius skaičiavimus, jo konvergavimas tikrinamas pagal skečiamosios jėgos (9) ir jėgos (10) projekcijos į ašį X lygybę.

V. Kačiurinas [3] siūlo sąlyginę ribą tarp lankstųjų bei standžių lynų apibūdinti tam tikru dydžiu ψ , reiškiančiu santykį tarp normalinių įtempių, sukeltų lenkiamąjį momento bei ašinės tempiamosios jėgos:

$$\psi = \sigma_{lenk} / \sigma_{temp}, \quad (11)$$

čia σ_{lenk} ir σ_{temp} – atitinkamai lenkiamąjį momento ir ašinės jėgos sukelti normaliniai įtempiai.

Priklausomai nuo lyno geometrinių parametrų ir jų veikiančios tolygiai išskirstytos apkrovos didumo, šiuo rodikliu galima apibūdinti lyno darbą. V. Kačiurinas [3] pabrėžia, kad galimos trys lyno darbo atmainos: lynas

yra absoliučiai lankstus ($\psi \leq 0,05$); jis yra baigtinio lenkiamąjį standumo ($0,05 < \psi < \infty$); jis dirba kaip sija ($\psi = \infty$). Skirtumą tarp absoliučiai lankstaus ir standaus lynų taip pat parodo jo liaunumo rodiklis kL [1–3]. Priklausomai nuo jo didumo galima racionaliai pasirinkti lyno poslinkių bei įrašų skaičiavimo metodą. Lankstųjų lynų, kurių $kL > 2$, statiesiems poslinkiams bei įrašoms apskaičiuoti yra sukurti specialūs metodai [4]. Tolygiai išskirstytos apkrovos sukeltiems trilankstės kabamosios konstrukcijos, padarytos iš tiesiųjų baigtinio lenkiamąjį standumo plieno strypų (1 pav. a), įlinkiams skaičiuoti tinka [1, 2] metodikos bei anksčiau pateiktos (4) – (10) formulės.

3. Lyno lenkiamąjį standžio įtaka jo statiesiems poslinkiams

Itin standžių lynų, kurių liaunumo rodiklis $kL < 2$ ($\psi \rightarrow \infty$), darbas yra panašus į dvitramės sijos [3, 4]. Tokio lyno lenkiamieji momentai pakankamai tiksliai gali būti nustatyti kaip ir dvitramės sijos, o jo vidurio įlinkiai apytikriai gali būti apskaičiuoti pagal formulę:

$$f = M_n \cdot l^2 / 10EJ, \quad (12)$$

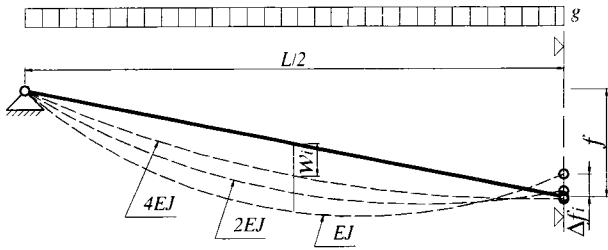
čia M_n – norminis lenkiamasis momentas; l ir EJ – atitinkamai lyno geometrinis ilgis ir lenkiamasis standis.

Kadangi kabamosios baigtinio lenkiamąjį standumo konstrukcijos elementai yra ne tik lenkami, bet dar ir tempiami, būtina atsižvelgti į jų pailgėjimą ΔL ir dėl jo papildomai atsiradusį statųjį poslinkį. Tik taip įmanoma įvertinti trūkius komponentų sąlyčio vietoje, būdingus apkrautam betonšerđžiam elementui dėl sudėtingos jo komponentų tarpusavio sąveikos ir nevienodu plieno ir betono Puasono koeficientų [5]. Todėl galima tvirtinti, kad šiuos įlinkius sudarys dvitramės sijos ir lyno, vertinamo kaip kabamasis baigtinio lenkiamąjį standumo elementas, įlinkių suma:

$$f = f_m + f_n, \quad (13)$$

čia f_m , f_n – atitinkamai lenkiamąjį momento ir ašinės jėgos sukelti įlinkiai.

Riba tarp baigtinio lenkiamąjį standumo lyno bei sijos yra sąlyginė ir priklauso nuo kelių skirtingų veiksnių (lynų tarpatriamio, skerspjūvio ploto, lenkiamąjį standžio, juos veikiančios apkrovos). Akivaizdu, kad, kuo lyno darbas bus artimesnis sijos darbui, sijinio įlinkio dalis pagal (12) bus didesnė ir turės didesnę įtaką bendriesiems konstrukcijos įlinkiams. Tačiau, kai lyno



4 pav. Tiesiastrypės trilankstės kabamosios konstrukcijos poslinkių pasiskirstymas priklausomai nuo lynų lenkiamąjo standžio EJ

Fig 4. Distribution of displacements of straight-line three-hinge suspension structure due to flexible stiffness EJ of cables

darbas priklausomai nuo lyno liaunumo rodiklio kL labiau atitiks lanksčiųjų kabamųjų elementų darbą, sijinio įlinkio dalis mažės iki minimumo. Kokią įtaką lynų lenkiamasis standis EJ turi kabamosios konstrukcijos skirtingų taškų įlinkiams w ir Δf , galima pamatyti iš 4 pav. Jame parodytos tiesiastrypės trilankstės kabamosios konstrukcijos stačiųjų įlinkių pasiskirstymo kreivės (punktyrinės linijos) priklausomai nuo jos lenkiamąjo standžio EJ .

Pagal analogiją su plieno sija tolygiai išskirstyta apkrova veikiamos betonšerdės vamzdinės plieno sijos vidurio įlinkį galima būtų apytiksliai apskaičiuoti [5] formule:

$$f = M_n \cdot l^2 / 10(EJ)_c, \quad (14)$$

$$(EJ)_c = E_s J_s + E_b J_b, \quad (15)$$

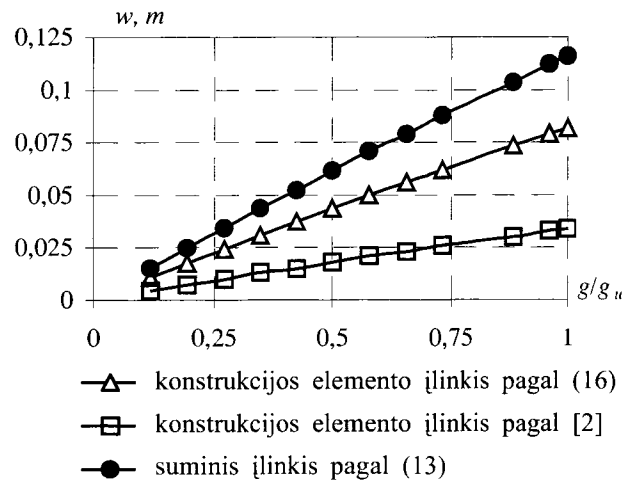
čia $E_s J_s$, $E_b J_b$ – atitinkamai sijos plieno kevalo ir betono šerdies lenkiamasis standis.

Tačiau bandymai [6] parodė, kad tuščiavidurių betonšerdžių apskritų vamzdynių plieno sijų vidurio įlinkis tiksliau apskaičiuojamas formule:

$$f = M_n l^2 / 3(EJ)_c. \quad (16)$$

Iš apskritų tuščiavidurių betonšerdžių vamzdynių plieno elementų sudarytos tiesiastrypės trilankstės baigtinio lenkiamąjo standumo kabamosios konstrukcijos skečiamosios jėgos sukeltiems statiesiems poslinkiams apskaičiuoti gali būti pritaikyta I. Kalminzerio [2] metodika arba apytikslis metodas (formulės (4) – (10)), jei naudojamas suminis betonšerdžio strypo standumas $(EJ)_c$. Minėtos kabamosios konstrukcijos maksimalūs bus elementų vidurio (konstrukcijos ketvirčių) įlinkiai. 5 pav. parodyti konstrukcijos elementų vidurio (kon-

strukcijos ketvirčių) įlinkiai w apskaičiuoti dviem būdais: pirmuoju – pagal [2], tarus, kad nagrinėjama konstrukcija yra baigtinio lenkiamąjo standumo (šiuo atveju lygiaverčiai galima būtų taikyti ir apytikslį metodą, išreikštą formulėmis (4) – (10)); antruoju – pagal (16) formulę, tarus, kad konstrukcijos elementų darbas panašus į dviatramės sijos.



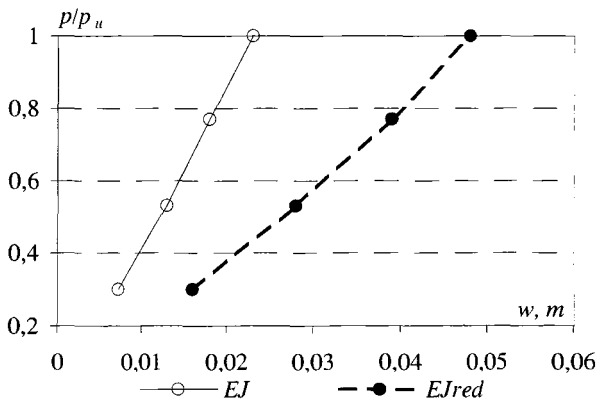
5 pav. Trilankstės tiesiųjų tuščiavidurių betonšerdžių apskritų vamzdynių plieno strypų kabamosios konstrukcijos elementų vidurio (konstrukcijos ketvirčių) teorinių įlinkių diagramos

Fig 5. Theoretical deflection diagrams of the mid-span of straight-line hollow concrete-filled circular steel tubular members of three-hinge suspension structure (quarters of the structure)

Aukštesnioji kreivė, parodyta 5 pav., yra šių dviejų konstrukcijos įlinkių suma. Reikia pabrėžti, kad, kintant apkrovos didumui, kinta ir kabamosios konstrukcijos liaunumo rodiklis kL . Nagrinėjamos konstrukcijos betonšerdžiai elementai pradinių apkrovimo žingsnių metu dirbo daugiau kaip sijos, nes jų liaunumo rodiklis buvo $kL = 0,7$. Apkrovai padidėjus konstrukcijos elementai tapo panašesni į baigtinio lenkiamąjo standumo strypus. Ribiniu atveju, kai konstrukcija buvo arti suirimo, kL pasiekė skaičių 2, t. y. jos strypai dirbo kaip baigtinio lenkiamąjo standumo elementai.

Skaičiuojant sluoksniuotąsias konstrukcijas, tuščiaviduriai betonšerdžiai vamzdiniai plieno strypai ir yra tokios konstrukcijos. Kartais naudojamos lyginamųjų standžių reikšmės EJ_{red} , kurios leidžia elementą, padarytą iš kelių skirtingų medžiagų sluoksnių, laikyti vienasluoksniu. Pagal [2] metodiką arba apytiksliu me-

todu ir imant lyginamąjį lenkiamąjį standį EJ_{red} apskaičiuoti tiesiastrypio trilankščio sluoksniuotojo lyno atskirų elementų vidurio įlinkiai yra didesni už apskaičiuotus imant suminį jo atskirų sluoksnių standį. Kaip kinta trilankstę kabamąją konstrukciją sudarančių tiesiųjų tuščiavidurių betonšerdžių vamzdinių plieno elementų vidurio įlinkiai priklausomai nuo jų lenkiamojo standžio bei apkrovos didumo, parodyta 6 pav.



6 pav. Trilankstės kabamosios konstrukcijos elementų vidurio įlinkių, apskaičiuotų pagal [2] metodiką, priklausomybė nuo elementų lenkiamojo standžio $(EJ)_c$ pagal (15); EJ_{red} pagal (18)

Fig 6. Dependency of mid-span deflection of straight-line hollow concrete-filled steel tubular members of three-hinge suspension structure, calculated by [2] method, upon flexural stiffness of members $(EJ)_c$ due to (15) and EJ_{red} due to (18)

Panašus įlinkių pasiskirstymas išlieka apskaičiuojant tuščiavidurių betonšerdžių vamzdinių plieno elementų vidurio įlinkius pagal suminį sluoksnių standį EJ_c (16) formule ir pagal lyginamąjį lenkiamąjį standį EJ_{red} formule (14), t. y. pagal tokią išraišką:

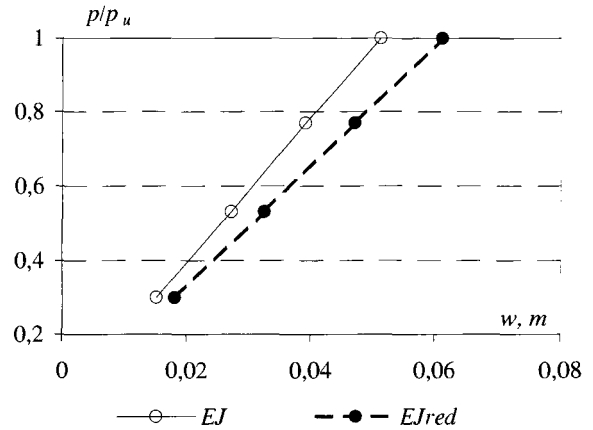
$$f = M_n \cdot l^2 / 10EJ_{red}, \quad (17)$$

čia EJ_{red} – sluoksniuotojo elemento lyginamasis lenkiamasis standis:

$$EJ_{red} = E_s J_s + E_b J_b / E_s. \quad (18)$$

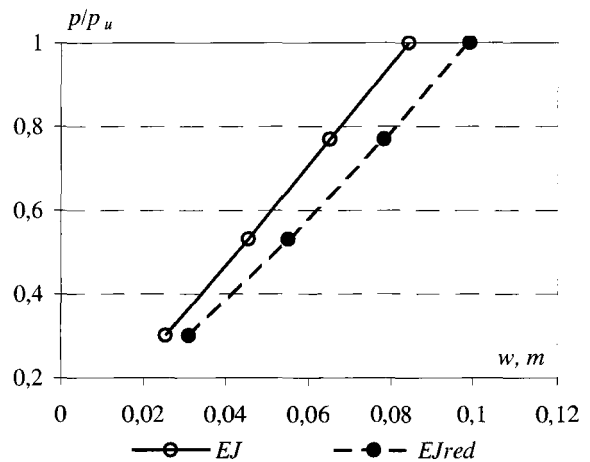
Tiesiųjų tuščiavidurių betonšerdžių apskritų vamzdinių plieno strypų įlinkiai, apskaičiuoti atitinkamai pagal (16) ir (17) formules, tarus, kad elementai dirba tik kaip sijos, parodyti 7 pav.

Suminės kabamosios konstrukcijos gana standžių elementų vidurio įlinkio reikšmės, apskaičiuotos pagal (13) atsižvelgus į jų lenkiamojo standžio didumus, parodytos 8 pav.



7 pav. Tuščiavidurio betonšerdžio apskrito vamzdinio plieno strypo vidurio įlinkio, apskaičiuoto pagal (16) ir (17) formules, priklausomybė nuo elementų lenkiamojo standžio $(EJ)_c$ ir EJ_{red}

Fig 7. Dependency of mid-span deflection of hollow concrete-filled steel tubular member calculated by formula (16) and (17) upon flexural stiffness of members $(EJ)_c$ and EJ_{red}



8 pav. Trilankstės tiesiųjų tuščiavidurių betonšerdžių apskritų vamzdinių plieno strypų kabamosios konstrukcijos elementų vidurio suminių įlinkių priklausomybė nuo elementų lenkiamojo standžio $(EJ)_c$ ir EJ_{red}

Fig 8. Sum total of mid-span deflections of straight-line hollow concrete-filled steel tubular members of three-hinge suspension structure upon flexural stiffness of members $(EJ)_c$ and EJ_{red}

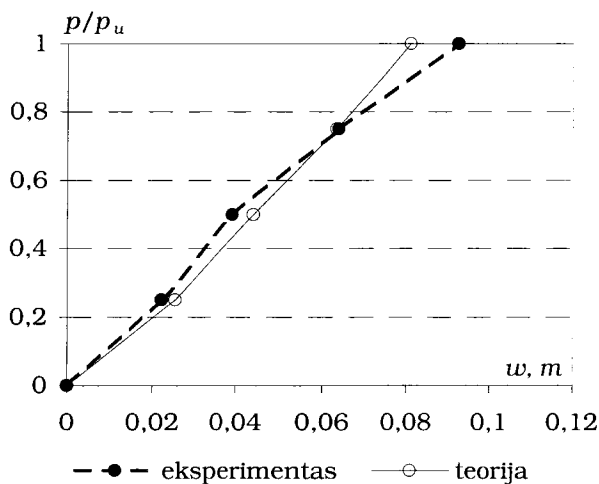
Teoriniai skaičiavimai parodė, kad suminiai trilankstės kabamosios konstrukcijos tuščiavidurių betonšerdžių apskritų vamzdinių plieno tiesiųjų elementų vidurio įlinkiai, apskaičiuoti pagal atitinkamas formules, imant suminį arba lyginamąjį lenkiamuosius standžius, yra panašūs ir palyginti nedaug tesiskiria. Tačiau prak-

tiniams skaičiavimams tikslinga naudoti suminį lenkiamąjį standį $(EJ)_c$, nes tuomet galima realiau įvertinti skirtingų medžiagų mechanines savybes.

Imant plienui prilygintą betonšerdžio vamzdinio plieno strypo lenkiamojo standžio reikšmę EJ_{red} , tokių kabamosios konstrukcijos elementų vidurio įlinkiai, apskaičiuoti pagal (17), yra šiek tiek didesni nei tie patys įlinkiai, apskaičiuoti pagal (16) formulę naudojant suminį atskirų sluoksnių lenkiamąjį standį $(EJ)_c$. Kadangi trilankstės kabamosios konstrukcijos didžiausi įlinkiai yra ties jos ketvirčiais, t. y. jos atskirų elementų viduryje, būtina riboti tokios konstrukcijos tarpatramio ketvirčių įlinkius. Be to, juos reikia apskaičiuoti kaip dviejų atskirų įlinkių sumą pagal (13).

4. Teorinių ir eksperimentinių įlinkių palyginimas

Teoriniams samprotavimams patikslinti buvo atlikti trilankstės kabamosios konstrukcijos eksperimentiniai tyrimai. Konstrukcija buvo padaryta iš dviejų tiesiųjų apskritų tuščiavidurių betonšerdžių vamzdynių plieno elementų. Kabamosios stogo konstrukcijos bandymo metodika ir eiga yra aprašytos [7]. Bandymo metu nustatyti ir teoriškai apskaičiuoti konstrukcijos betonšerdžių elementų statieji įlinkiai buvo palyginti 9 pav.



9 pav. Trilankstės kabamosios konstrukcijos tiesiųjų tuščiavidurių betonšerdžių apskritų vamzdynių plieno strypų vidurio eksperimentinių bei teorinių įlinkių palyginimas

Fig 9. Comparison of the experimental and theoretical mid-span deflections of straight-line hollow concrete-filled steel tubular members of three-hinge suspension structure

Teoriniai kabamosios konstrukcijos ketvirčių įlinkiai buvo apskaičiuoti pagal [2] ir pagal (16) formulę, imant pradines plieno ir betono tamprumo modulių reikšmes. Eksperimentinius įlinkius sudaro dviejų simetriškai apkrautų kabamosios konstrukcijos kraštinių ketvirčių įlinkių vidurkis.

Iš 9 pav. matyti, kad teoriškai siūlomu metodu apskaičiuota elementų vidurio įlinkių suminė reikšmė gerai sutampa su eksperimento metu užfiksuotais nagrinėjamo pjūvio įlinkiais. Todėl galima teigti, kad siūloma įlinkių skaičiavimo metodika tinkama jiems vertinti. Skirtumas tarp eksperimentinių bei teorinių reikšmių padidėja iki 12,5% tik, kai konstrukcijos elementų plastinės deformacijos pasidaro didelės, t. y. kai artėjo jų suirimas.

5. Išvados

1. Liaunumo rodiklį $kL < 2$ turinčių tiesiastrypės trilankstės kabamosios konstrukcijos elementų vidurio įlinkiai, apskaičiuoti tik pagal [2] metodiką, yra daug (apie 4 kartus) mažesni nei gauti eksperimento metu.

2. Siūloma atsižvelgti į lenkimo ir tempimo įtaką ir liaunumo rodiklį $kL < 2$ turinčios tiesiastrypės trilankstės kabamosios konstrukcijos tarpatramio ketvirčių įlinkius skaičiuoti pagal (13).

3. Tuščiavidurių betonšerdžių vamzdynių plieno strypų deformacinių savybių bei jų įlinkių nustatymo metodų tyrimai leidžia tvirtinti, kad tokie strypai gali būti naudingai taikomi tiesiųjų trilankstės kabamųjų konstrukcijų baigtinio lenkiamojo standumo elementams.

4. Betonšerdžio strypo sijinio įlinkio dalį siūloma apskaičiuoti pagal (16) formulę atsižvelgus į jo atskirų sluoksnių lenkiamųjų standžių sumą $(EJ)_c$.

5. Siūloma baigtinio lenkiamojo standumo elemento tempimo sukeltą įlinkio dalį skaičiuoti pagal [2] metodiką arba formulėmis (4) – (10), atsižvelgus į suminį elemento sluoksnių lenkiamąjį standį $(EJ)_c$.

6. Sudėtinis baigtinio lenkiamojo standumo kabamųjų konstrukcijų įlinkių skaičiavimas pagal (13) užtikrina gerą jų eksperimentinių bei teorinių rezultatų sutapimą.

Literatūra

1. A. Juozapaitis. Tiesių baigtinio lenkiamojo standumo strypų kabamoji konstrukcija: Daktaro disertacijos santrauka. V.: Technika, 2000. 36 p.

2. И. Калминзер. Работа изгибно-жестких нитей из прямолинейных стержней в упругом и упруго-пластическом состояниях. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1985. 22 с.
3. В. К. Качурин. Теория висячих систем. Л.-М.: Госстройиздат, 1962. 222 с.
4. Н. С. Москалев. Конструкции висячих покрытий. М.: Стройиздат, 1980. 336 с.
5. A. Kvedaras. Metalo konstrukcijos iš betonu užlietu vamzdžių; Mokomoji knygelė. V.: LTSR aukštojo ir spec. višurinio mokslo ministerijos Leidybinė redakcinė taryba, 1985. 99 p.
6. A. Kvedaras, K. Šapalas, B. Valiūnas, A. Komka, A. Šapalas. Centrifuguotųjų kompozitinių elementų su itin plonais išoriniais plieno kevalais tyrimai: VTU mokslo tiriamojo darbo Nr. 2717 ataskaita / VTU. Vilnius, 1991. 82 p.
7. V. Šaraškinas, A. Kvedaras. Kabamosios betonšerdės konstrukcijos bandymo eiga ir rezultatai // Statyba, VI tomas, Nr. 5. V.: Technika, 2000, p. 315–321.

[teikta 2001 01 09

CALCULATION OF DEFLECTIONS OF HOLLOW CONCRETE-FILLED STEEL TUBULAR MEMBERS OF THREE-HINGE SUSPENSION STRUCTURE

V. Šaraškinas, A. K. Kvedaras

S u m m a r y

Recently, in scientific literature, information on a new type of suspended straight-line 3-hinged roof structures has considerably increased. It was stressed that straight-line elements are easily manufactured and erected, roof decking service conditions are good. In the world building practice during last 30 years very effective composite structures have been introduced, even hollow concrete-filled steel tubular members. But no information on the application of such members for suspended roofs was obtained. In some sources very simple straight-line suspended roofs structures were analysed, and for those shapes an effective centrifuged hollow concrete-filled steel tubular members may be successfully applied. These members do not require additional roof stabilisation. These composite ropes may be attributed to the elements of final flexural stiffness, and they are effective and simple to decrease deflections of the suspended roof. However, for these

composite ropes the methods of their deflection calculations must be developed because it is necessary to estimate their composite cross-section and interaction between components. This paper deals with analysis of these ropes' behaviour and their deflection calculation, which was made by exact I. Kalminzer's and other simplified methods. The vertical deflections in the middle of elements of the straight-line three-hinge composite suspended structure may be calculated as consisting of two parts depending on their bending and tension. The part of vertical deflection at mid-span of a composite member connected with its bending may be calculated as for hollow concrete-filled steel tubular beam taking into account the sum of flexural bending stiffness of its cross-sectional components $(EJ)_c$. The I. Kalminzer's or other simplified methods taking into account the sum of flexural bending stiffness of cross-sectional components may calculate the vertical deflection called by tension of element as the member of final flexural stiffness $(EJ)_c$. Comparison of experimental and theoretical data shows a good satisfaction when deflection calculation for the straight-line composite rope is made by dividing it into two parts depending on bending and tension. Investigation made into the deformation properties and methods of deflection definition of straight-line circular hollow concrete-filled steel tubular members allows declaring the possibility of useful application of such members as the ones of final flexural stiffness in suspended roof structures.

.....
Viačeslavas ŠARAŠKINAS. MSc. Dept of Steel and Timber Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania.
 E-mail: slavik@rasa.vtu.lt

Research interests: steel and composite structures, suspension structures, analysis of structures using computer simulation.

.....
Audronis Kazimieras KVEDARAS. Habil Doctor, Professor. Head of Dept of Steel and Timber Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: akve@st.vtu.lt

Civil engineer (1960), PhD (1968), Research visits: Czech Technical University (Prague, 1973–74), Imperial College of Science and Technology of London University (1977–79). Dr Habil (2000). Research interests: behaviour, development, investigation, design, manufacture of steel and composite structures and connections.