



## KABAMOSIOS TRILANKSTĖS KONSTRUKCIJOS IŠ BETONŠERDŽIŲ TUŠČIAVIDURIŲ VAMZDINIŲ PLIENO STRYPŲ BANDYMAS IR SKAIČIAVIMAS

Viačeslavas Šaraškinas, Balys Valiūnas

*Metalinių ir medinių konstrukcijų katedra,  
Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva  
El. paštas [slavik@st.vtu.lt](mailto:slavik@st.vtu.lt)*

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

**Santrauka.** Mokslinėje spaudoje apie kabamąsias konstrukcijas yra duomenų apie naujo tipo trilankstę kabamąją konstrukciją iš plieninių tiesiastrypių elementų. Pabrėžiama, kad tokio tipo tiesūs elementai lengvai pagaminami bei sumontuojami, tokių stogų paklotų eksploatacinės savybės yra itin geros. Per pastaruosius 30 metų pasaulinėje statybų praktikoje efektyvios kompozitinės konstrukcijos buvo pradėtos naudoti, ypač paplito betonšerdžiai vamzdiniai plieno elementai. Tačiau apie šių efektyvių konstrukcijų naudojimą kabamosiose sistemose duomenų nerasta. Kai kuriuose literatūros šaltiniuose nagrinėjamos itin paprastos kabamosios konstrukcijos gali būti pritaikyti betonšerdžiai tuščiaviduriai vamzdiniai plieno elementai. Naudojant tokius elementus stogo konstrukcijai, nereikia kitų stabilizavimo priemonių. Tokie kompozitiniai lynai gali būti priskirti prie baigtinio lenkiamojo standumo elementų, kurių naudojimas kabamosiose konstrukcijose leidžia efektyviai varžyti jų poslinkius. Tačiau turi būti sukurtas tokių kompozitinio skerspjuvio lynų skaičiavimo metodas. Atlikti tyrimai rodo, kad betonšerdžių tuščiavidurių vamzdinių plieno elementų naudojimas kabamajai tiesiastrypei trilankstei konstrukcijai gali būti gana efektyvus.

**Reikšminiai žodžiai:** kabamosios konstrukcijos, kompozitinės plieno ir betono konstrukcijos, eksperimentiniai tyrimai, skaičiavimo metodai.

## TESTING AND CALCULATING THREE-HINGE SUSPENSION STRUCTURES OF HOLLOW CONCRETE-FILLED STEEL TUBULAR MEMBERS

Viačeslavas Šaraškinas, Balys Valiūnas

*Dept of Steel and Timber Structures,  
Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania  
E-mail: [slavik@st.vtu.lt](mailto:slavik@st.vtu.lt)*

*Received 14 March 2007; accepted 7 June 2007*

**Abstract.** Recently in the research publications an information about a new type of suspended straight-line 3-hinge roof structures has appeared. In this sources it was stressed that straight-line elements is easy to manufacture and erect, roof decking service conditions are good. In the world building practice during last 30 years very effective composite structures were introduced, even hollow concrete-filled steel tubular members. At this time no information about the application of such members for suspended roofs was obtained. In some sources very simple straight-line suspended roofs structures were analysed, and for these 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 a suspended roof. However, for such composite ropes methods of their calculations must be developed. Investigations made into the deformation properties and methods of deflection, definition of straight-line circular hollow concrete-filled steel tubular members allows to declare a possibility of useful application of such members as ones of final flexural stiffness in suspended roof structures.

**Keywords:** suspended roof structures, composite steel-concrete structures, experimental investigation, calculation method.

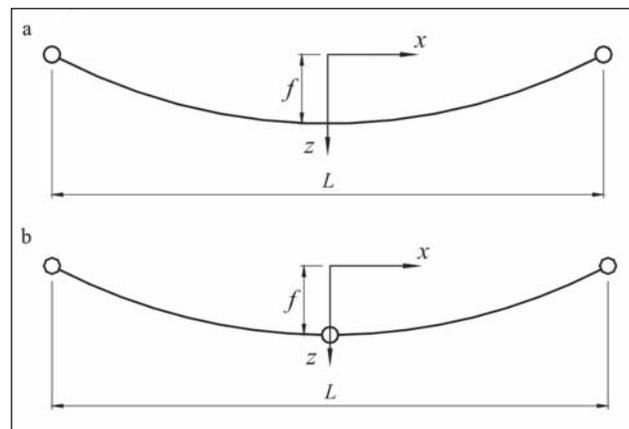
## 1. Įvadas

Kabamosios konstrukcijos, palyginti su kitomis statybinėmis konstrukcijomis, yra gana retos, jos dažniausiai įrengiamos visomeniniuose ir sporto statiniuose, tiltuose. Jų pavidalas bei forma pritaikyti palyginti dideliems plotams dengti. Tačiau nepaisant didelių matmenų, kabamosios konstrukcijos išlieka vienos ekonomiškiausių. Tai pasiekama dėl racionalios formos bei dėl plieno elementų efektyvaus darbo kabamųjų stogų konstrukcijose. Dažniausiai kabamųjų konstrukcijų elementai yra lankstūs lynai, kurie darbo metu būna tik tempiami. Tačiau stogams iš tokių lynų reikia stabilizuojamųjų konstrukcijų, o tai mažina visos konstrukcijos efektyvumą. Todėl tam tikrais atvejais, kai reikalingos atsparesnės įlinkiams stogo konstrukcijos, vietoj lankstųjų lynų naudojami elementai, turintys didesnę lenkiamąją standį  $EI$ . Tokiuose elementuose veikia ašinės tempimo jėgos ir lenkiamieji momentai.

Pagrindinis kabamųjų konstrukcijų trūkumas – per didelis jų deformatyvumas, kuris dažnai lemia šių efektyvių konstrukcijų naudojimą. Konstrukciniai elementai yra gana ilgi, o jų standumas dažnai nėra toks didelis, kad suvaržytų vertikaliuosius poslinkius. Dėl to gali būti pažeista stogo danga, pablogėti stogo eksploatacijos sąlygos. Todėl praktikoje naudojami įvairūs techniniai sprendimai, kurie užtikrina kabamųjų konstrukcijų standumą. Stogams iš liaunų elementų – lynų naudojami sunkūs denginiai arba paklotai, stabilizuojantys stogo konstrukciją savuoju svoriu. Tačiau vis dėlto efektyviau yra naudoti sąlygiškai standesnius stogo konstrukcijų elementus, kurie dar vadinami baigtinio lenkiamąjo standumo elementais. Būdami sunkesni nei lankstūs lynai, šie elementai daug kartų atsparesni vietiniam lenkimui ir nesimetrinės apkrovos sukeltiems kinematiniais [1, 2] poslinkiams. Norint padidinti baigtinio lenkiamąjo standumo strypų efektyvumą, jiems kartais yra suteikiama parabolinė forma, kuri padeda sumažinti lenkiamuosius momentus (1 pav., a, b). Tokios konstrukcijos dažniausiai būna dvilankstės arba trilankstės. Ilgų elementų išlankstymas nėra lengvas, todėl sukurtos [1, 2] ir praktikoje žinomos paprastesnės baigtinio lenkiamąjo standumo trilankstės tiesiastrypės kabamosios plieno konstrukcijos (2 pav.). Atliktuose tyrimuose [1, 2] pabrėžiama, kad tokius tiesiuosius standesnius lynus gaminti, montuoti ir dengti yra daug paprasčiau nei lenktus.

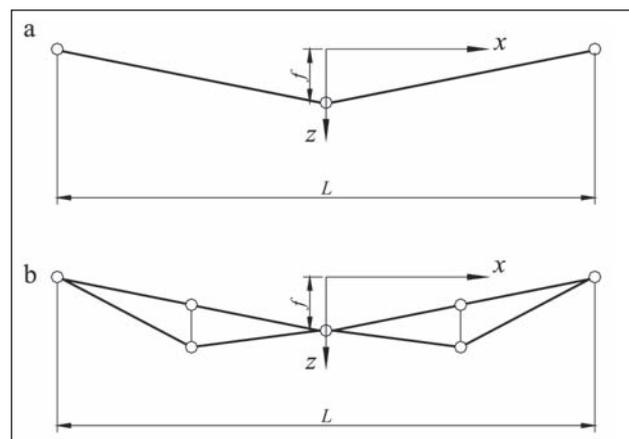
Tačiau jeigu konstrukciją veikia simetrinės apkrovos, kurios nesukelia didelių lenkiamųjų momentų ir kinematinų poslinkių, vis dėlto tiesiesiems standiesiems lynams reikia daugiau plieno nei tokios pat paskirties parabolinės apybraižos lynams [1, 2]. Iš analizės, atliktos tyrimuose [1, 2], matyti, kad kai kuriais kabamųjų stogų konstrukcijų apkrovimo atvejais tiesieji standieji lynai yra efektyvesni už parabolinius. Didžiausi tiesiųjų standžiųjų lynų įlinkiai, sukelti jų tampraus pailgėjimo, atsiranda, kai visas stogo tarptraimis apkrautas išskirstytąja apkrova, sukeldama dideles skečiamąsias jėgas.

VGTU Metalinių ir medinių konstrukcijų katedroje atliktais tyrimais [3, 4] buvo bandoma sumažinti tiesiųjų standžiųjų lynų plieno sąnaudas, naudojant jos strypams centrifuguotus betonšerdius tuščiavidurius metalinius vamz-



1 pav. Parabolinės formos baigtinio lenkiamąjo standumo kabamosios plieno konstrukcijos: a – dvilankstė parabolinė; b – trilankstė parabolinė

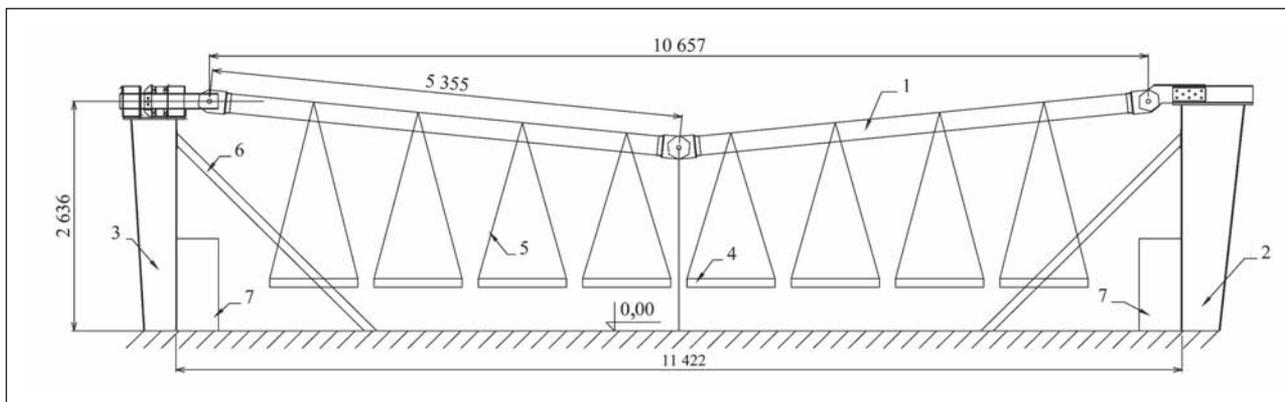
Fig 1. The shapes of ropes of final bending stiffness: a – two-hinge parabolic shape; b – three-hinge parabolic shape



2 pav. Trilankstės tiesiastrypės kabamosios konstrukcijos

Fig 2. Three-hinge straight-line suspension structures

džius. Naudojant šiuos, turinčius gana didelį savąjį svorį kompozitinius plieno ir betono elementus, galima nesimti papildomų stogo stabilizavimo priemonių, taip pat ir sumažinti plieno sąnaudas laikantiesiems tiesiesiems lynams. Tokių lynų metalinio skerspjūvio plotas paprastai yra mažesnis, t. y. tik toks, kokio reikia tempiamosioms įrašoms atlaikyti, o jų lenkiamąjį standį padidina vamzdyje esanti centrifuguota betono šerdis. Dėl palygti didelio lenkiamąjo standžio kompozitiniai plieno ir betono lynai gali būti priskirti prie baigtinio lenkiamąjo standumo kabamųjų elementų, kuriais itin veiksmingai ir paprastai galima mažinti kabamųjų stogų deformuojamumą. VGTU Metalinių ir medinių konstrukcijų katedroje buvo atlikti trilankstės tiesiastrypės kabamosios konstrukcijos, sudarytos iš baigtinio lenkiamąjo standumo tiesiastrypių plieno-betono vamzdinių centrifuguotų elementų, eksperimentiniai tyrimai, norint nustatyti šios konstrukcijos darbo ir elgsenos ypatumus, veikiant simetrinei apkrovai. Taip pat buvo sukurtas ir palygintas su eksperimentinių tyrimų rezultatais jos poslinkių ir elementų įrašų skaičiavimo metodas [4].



3 pav. Bandyto schema: 1 – bandomasis elementas; 2 – vientisinė trapecinė atrama; 3 – sudėtinė suporinta trapecinė atrama; 4 – kabamasis krovinio lošys; 5 – lynas; 6 – spyris; 7 – armatūros įtempimo stendo atramos

Fig 3. Test arrangement: 1 – experimental member; 2 – compact tapered support; 3 – built-up twin tapered support; 4 – Boatswain's loading chair; 5 – cable; 6 – brace strut; 7 – existing supports of steel reinforcement pretension

## 2. Trilankstės tiesiastrypės kabamosios konstrukcijos bandymas

Nagrinėjamos kabamosios konstrukcijos bandymams atlikti buvo suprojektuota bei sukonstruota speciali bandymo įranga (3 pav.).

Bandomąją konstrukciją (3 pav.) sudarė du tiesieji spiraline siūle suvirinti plieno vamzdžiai, kurių viduje centrifuguojant buvo suformuota tuščiavidurė betono šerdis. Plieno vamzdžio išorinis skersmuo buvo 219 mm, o jų sienelių storis siekė 1,60 mm. Charakteringoji plieno takio reikšmė buvo nustatyta, tempiant to paties plieno juosteles ir siekė 257 MPa, o trūkio – 367 MPa.

Centrifuguotoji vidinė betono šerdis buvo kintamojo storio. Prie vamzdžio galų jos storis siekė 45 mm, o toliau nuo jų ir vidurio link jis mažėjo iki 16 mm. Centrifuguotosios šerdies vidutinis gniuždomasis betono prizminis stipris siekė 90,6 MPa, stiprio variacijos koeficientas – 15,7 %. Konstrukcijos centrifuguotųjų tiesiųjų elementų ilgis buvo  $l = 5,43$  m, o visas perdengtas tarpatramis  $L = 10,65$  m. Elementai ant kolonų buvo atremti lanksčiai ir viename lygyje, o jų vidurinio mazgo pradinis išsvyris buvo  $f_0 = 1,028$  m. Tai sudarė apie 1/10 tarpatramio dalį. Elementų tarpusavio jungtis viduriniame mazge buvo lanksti. Atraminių ir vidurinio mazgo konstrukcijos parodytos atitinkamai 4–6 pav.

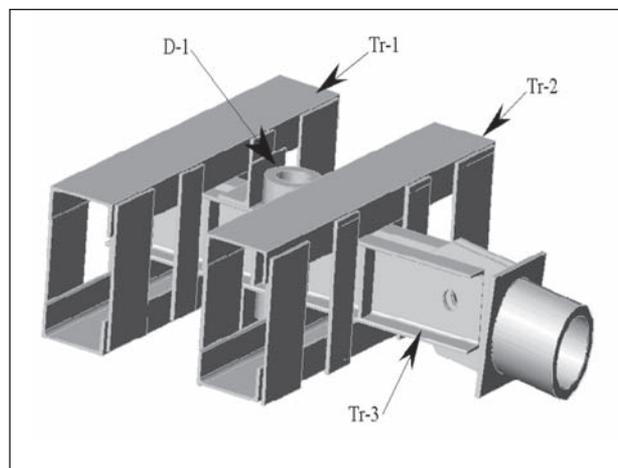
Kabamoji konstrukcija buvo bandoma iki suirimo, apkraunant ją sutelktinėmis jėgomis, kurios jos elementams buvo perduodamos per simetriškai kas 1,184 m 8 taškuose išdėstytus lynus (3 pav.). Skersinė apkrova buvo keliami tolydžio, ant lynais pakabintų padėklų kraunant specialius svarsčius. Po kiekvienos apkrovimo pakopos dinamometru, įrengtu kairiojoje atramoje, buvo matuojama skečiamoji jėga (4 pav.).

Tenzojutikliais (jų išdėstymas parodytas 7 pav.) kiekviena apkrovimo pakopa buvo matuota išorinio plieno kevalo santykinės išilginės ir skersinės deformacijos elementų būdingiausiųose pjūviuose, t. y. jo viduryje, ties atramomis ir prie vidurinio mazgo.

Atskirų konstrukcijos taškų statieji, taip pat ir atramų viršūnių gulstieji poslinkiai buvo matuojami laikrodiniais įlinkiamačiais.

Bandyto metu gauti duomenys apie konstrukcijos įlinkių, skečiamosios jėgos ir išorinio plieno kevalo deformacijų kitimą įvairių apkrovimo pakopų metu leidžia tvirtinti, kad jos visuminis kitimo pobūdis iš esmės panašus į tiesiųjų baigtinio lenkiamojo standumo plieninių strypų [2]. Pagal eksperimentais nustatytas įlinkių reikšmes buvo braižomos bandomos konstrukcijos elementų deformuotosios schemos kiekvienam apkrovimo atvejui (8 pav.). Kaip matyti iš šio grafiko, konstrukcijoje atsirado gana dideli statieji poslinkiai. Šie poslinkiai maksimalūs buvo elementų viduryje (tarpatramio ketvirčiuose).

Vidurinio mazgo statusis poslinkis, kaip buvo prognozuojama, didėjo daug lėčiau nei minėtų pjūvių. Todėl projektuojant tokio tipo kabamuosius stogus, reikia atsižvelgti į tai, kad labai išsikreivinantys elementai gali sužaloti paklotą ir juos tenka dimensionuoti pagal tinkamumo ribinį būvį.



4 pav. Elemento ir kairiosios atramos skersės jungtis: D-1 – dinamometras; Tr-1 ir Tr-2 – skersinės skersės; Tr-3 – išilginė lankstą laikanti skersė

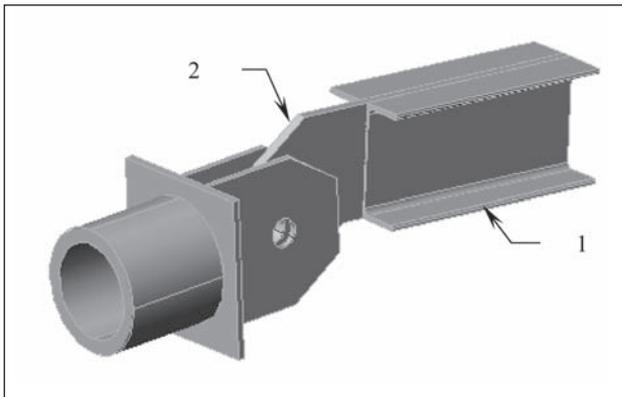
Fig 4 Joint of member and left support cross-member: D-1 – force measurement unit; Tr-1 and Tr-2 – lateral cross-members; Tr-3 – longitudinal cross-member carrying the pin

Kabamųjų stogų ribinių stačių poslinkių didumai nėra griežtai apibrėžti, nes kiekvienu atveju jie priklauso nuo bendrosios stogo konstrukcinės schemos bei pakloto konstrukcijos ir medžiagų. Pagal [5] ribinis konstrukcijos tarpatriamo vidurio įlinkis  $\delta_f$  sąlygiškai gali būti imamas lygus 1/300 tarpatriamo daliai (jeigu stogo konstrukcija surinkta iš skydų ir nėra vientisinė). Tokiu būdu bandytosios kabamosios konstrukcijos ribinis įlinkis pagal [5] turėjo siekti 35,5 mm. Galima teigti, kad bandytoji konstrukcija pasiekė tinkamumo ribinį būvį, kai išskirstyta apkrova sudarė  $p = 3,4$  kN/m.

Kai apkrova yra asimetrinė, ribinis bet kurios konstrukcijos vietos įlinkis gali būti padidintas iki tarpatriamo 1/150 dalies. Tuomet mūsų atveju jis siektų 71 mm. Toks įlinkis atitiko apkrovą  $p = 4,91$  kN/m.

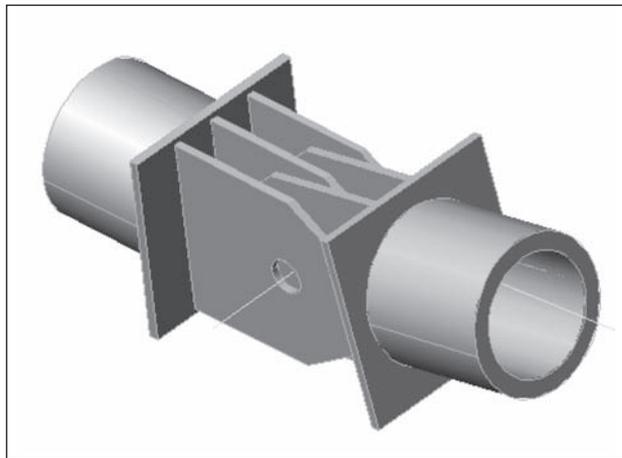
Kai apkrova pasiekė  $p = 9,80$  kN/m, vienas iš elementų suiro apie 1 m nuo atramos nutolusiame pjūvyje, trūkus tempiamojo ruožo plieno kevalui. Normalinių įtempių plieno kevalo paviršiuje vystymasis, didėjant apkrovai, parodytas 9 pav.

Išsamiau kabamosios konstrukcijos bandymo metodika, jo eiga ir rezultatai aprašomi [3].



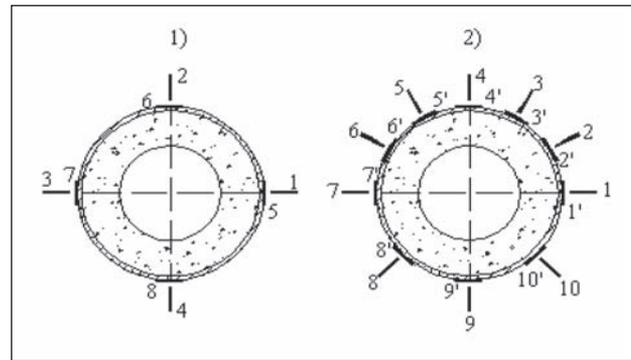
5 pav. Elemento ir dešinėsios atramos detalių jungtis: 1 – traversa; 2 – jos lanksto laikiklis

Fig 5. Joint of member and right support details: 1 – cross-member; 2 – its pin jig



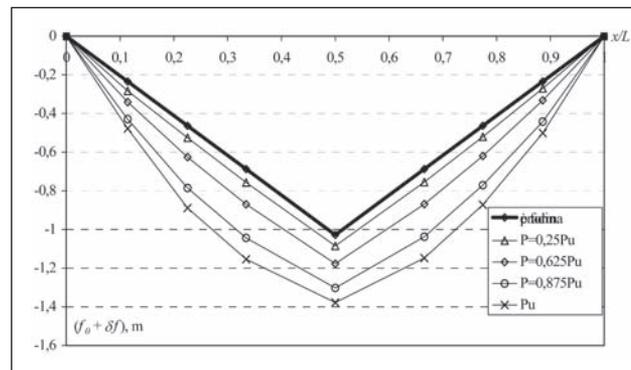
6 pav. Elementų jungties vidurinis mazgas (be varžto)

Fig 6. Middle node of the joint of members (bolt not shown)



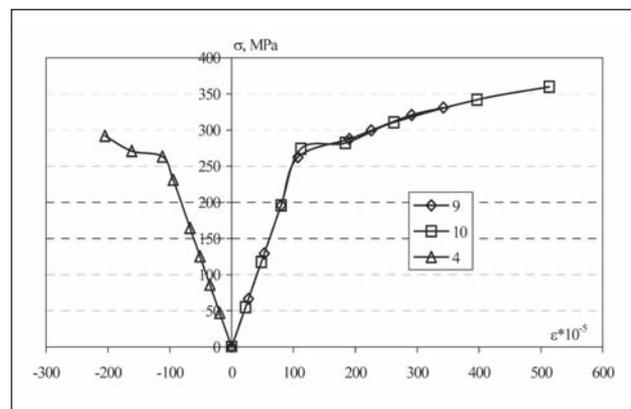
7 pav. Tenzojutiklių išdėstymas prie atramos ir vidurinio mazgo (1) bei elemento viduryje (2)

Fig 7. Tenzo-resistors spacing near support and middle joint (1), in the middle of member (2)



8 pav. Stogo konstrukcijos pradinė ir deformuotoji schemas:  $P$  – bandomoji apkrova;  $P_u$  – ardančioji apkrova;  $x$  – apkrovos pridėties taškų atstumas nuo kairiosios atramos;  $L$  – tarpatriamis

Fig 8. Initial and deformed flow diagrams of roof structure:  $P$  – test load;  $P_u$  – failure load;  $x$  – distance of loading points from left support;  $L$  – span length



9 pav. Tempiamojo ir gniuždomojo plieno kevalo ruožų (elemento vidurio) normalinių įtempių ir santykinų deformacijų kitimo grafikai: 4, 9, 10 – tenzojutiklių numeriai pagal 7 pav., 2

Fig 9. Normal stress-strain diagrams of tension and compression zones of steel shell (in the middle of member): 4, 9, 10 – numbers of tenzo-resistors according to Fig 7, 2

### 3. Trilankstės kabamosios konstrukcijos stačiųjų poslinkių bei įrašų skaičiavimas

Atsižvelgiant į kabamųjų konstrukcijų deformatyvumą, jų skaičiavimas turi būti vykdomas pagal deformuotą schemą [1, 2, 6, 7]. Toks skaičiavimas yra komplikotas ir atliekamas iteraciniu būdu. Kabamųjų konstrukcijų elementų tikrąsias įrašas nustatyti neįmanoma nenustačius skečiamosios jėgos, kurios didumas priklauso nuo konstrukcijos vidurio vertikalaus poslinkio  $\Delta f$ . Kabamosios trilankstės konstrukcijos iš tiesiųjų elementų vidurinio mazgo vertikalusis poslinkis gali būti nustatytas iš lygties [2]:

$$(f + \Delta f)^2 = \frac{L}{64 \cdot C_0} \left[ \frac{2f^2}{L} + \frac{\sigma_0}{E} \left( L + \frac{2f^2}{L} \right) + \Delta L \right], \quad (1)$$

čia  $C_0$  – koeficientas iš [2];  $\Delta L$  – atramų gulsčiasis suartėjimas;  $\sigma_0$  ir  $E$  – lyno įtempis ir tamprumo modulis.

Skečiamoji jėga, nuo kurios priklauso įtempis  $\sigma_0$  nustatoma pagal tokią formulę [3]:

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

Konstrukcijos skečiamąją jėgą taip pat galima nustatyti supaprastintu metodu [4] tariant, kad ryšys tarp skėtimo jėgos ir konstrukcijos strypo pailgėjimo nuo ašies tempimo jėgos:

$$\Delta S \approx \frac{S \cdot H}{EA \cdot \cos \alpha_1}, \quad (3)$$

čia  $EA$  – lyno membraninis standis;  $H$  – skečiamoji jėga;  $S$  – pradinis lyno ilgis;  $\alpha_1$  – kampas pagal 10 pav.

Deformuoto ir neapkrauto lyno ilgiai susieti lygtimi:

$$S_1 - S = \Delta S. \quad (4)$$

Naudojant (2–4) formules, gana tiksliai gali būti nustatyta skečiamoji jėga  $H$  ir konstrukcijos vidurinio mazgo vertikalusis poslinkis  $\Delta f$  [4].

Kabamosios tiesiastrypės trilankstės konstrukcijos, tamprieji statieji poslinkiai apskaičiuojami [2] iš lygties (5), priimant  $x$  koordinatę pradžia viduriniame šarnyre, prieš tai nustačius jos vidurinio taško (lanksto) išsvyrį  $\Delta f$  pagal lygtį (1):

$$w = \frac{8(f + \Delta f)}{k^2 L^2} \cdot \left[ ch(kx) + \frac{(1 - ch(kL/2))sh(kx)}{sh(kL/2)} - 1 \right] - \frac{4x^2 \cdot (f + \Delta f)}{L^2} + \frac{2f \cdot x}{L} + \Delta f, \quad (5)$$

čia  $f$  – lyno vidurinio tarpatramio taško pradinis išsvyris;  $x$  – nagrinėjamo taško koordinatė išilgai tarpatramio; konstrukcijos liaunumo rodiklis  $kL$  apskaičiuojamas pagal formulę (6) [1, 2, 6]:

$$kL = \sqrt{H L^2 / EJ}, \quad (6)$$

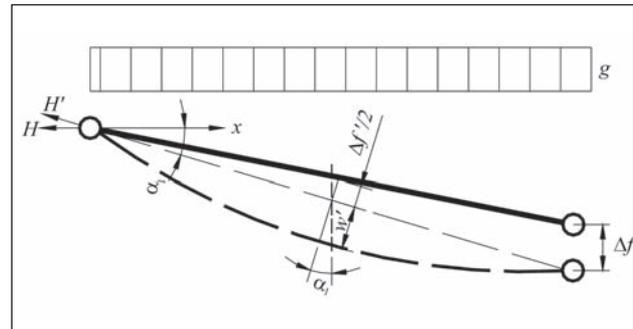
čia  $H$  – skečiamoji jėga;  $L$  ir  $EJ$  – lyno tarpatramis ir lenkiamasis standis.

Žinant skečiamąją jėgą gali būti apskaičiuojami baigti-

nio lenkiamąjo standumo strypų lenkiamieji momentai [2]. Tačiau būtina atkreipti dėmesį į ypatumus, kurie atsiranda naudojant betonšeržius plieno-betono elementus baigtinio lenkiamąjo standumo lynams [4], o jiems skaičiuoti turi būti naudojamas suminis betonšeržio elemento plieno kevalo ir betono šerdis lenkiamasis standis  $(EJ_c) = E_s J_s + E_b J_b$ .

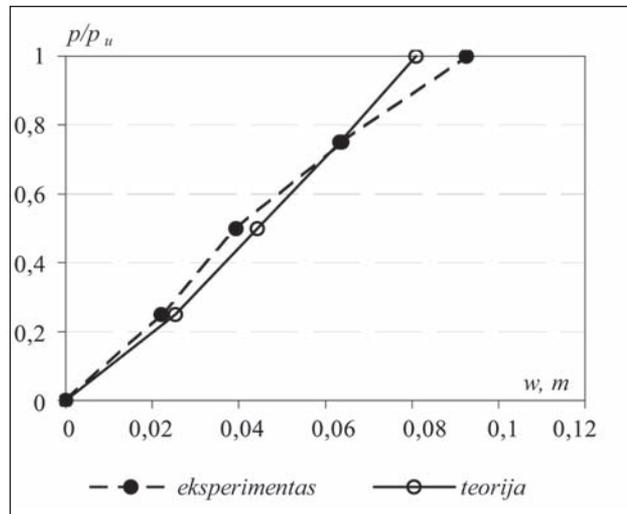
Esant trilankstės tiesiastrypės kabamosios konstrukcijos liaunio rodikliui, artimam  $kL = 2$ , tokią konstrukciją [6] galima laikyti itin standžią. Tokiu atveju, kaip parodė teorinių skaičiavimų lyginimas su eksperimentiniais tyrimais [4], jos tiesiastrypių lynų lenkiamieji momentai gana tiksliai gali būti nustatyti kaip ir dvitramės sijos, o jų vidurio įlinkiams nustatyti galima naudoti apytiksle formulę:

$$f = M_n \cdot l^2 / 3(EJ)_c, \quad (7)$$



10 pav. Tiesiastrypio lyno skaičiuojamoji schema:  $H'$  – lyno tempiamoji jėga;  $\Delta f' = \Delta f \cdot \cos \alpha_1$ ;  $H$  – skečiamoji jėga;  $\alpha_1$  – kampas

Fig 10. Design diagram of straight-line cable:  $H'$  – tension force of cable;  $\Delta f' = \Delta f \cdot \cos \alpha_1$ ;  $H$  – thrust force;  $\alpha_1$  – angle



11 pav. Trilankstės kabamosios konstrukcijos tiesiųjų tuščiaidurių betonšeržių apskritų vamzdinių plieno strypų vidurio eksperimentinių ir teorinių įlinkių lyginimas

Fig 11. Comparison of the experimental and theoretical mid-span deflections of straight-line hollow concrete-filled steel tubular members of three-hinges suspension structure

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

Teoriškai apskaičiuotų [4] bei eksperimentiškai gautų bandytos kabamosios konstrukcijos kompozitinių plieno-betono baigtinio lenkiamojo standumo strypų įlinkių lyginimas pateiktas 11 pav. Iš šio grafiko matyti, kad teoriškai apskaičiuotų trilankstės kabamosios konstrukcijos tiesiastrypių plieno-betono elementų vidurio įlinkių reikšmės gerai sutampa su eksperimento metu užfiksuotais nagrinėjamo pjūvio įlinkiais. Todėl galima teigti, kad įlinkių skaičiavimo metodika [4] 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 suirimai.

#### 4. Išvados

Patobulinta trilankstė plieno kabamoji konstrukcija, kurios laikantiesiems standiesiems lynams pritaikyti tiesūs kompozitiniai plieno-betono strypai. Kabamosios trilankstės konstrukcijos iš kompozitinių tuščiavidurių betonšerđžių vamzdinių plieno strypų eksperimentiniai tyrimai parodė, kad jos elgsena mažai skiriasi nuo įprastos metalo konstrukcijos. Bandymo metu gauti nauji eksperimentiniai duomenys, įvertinantys konstrukcijos darbo ypatumus. Sukurtas šios konstrukcijos įlinkių skaičiavimo metodas, kurio skaičiavimo tikslumas patikrintas eksperimentiniais tyrimais. Gauti nauji duomenys apie tempiamųjų ir lenkiamų kompozitinių elementų skerspjūvio išorinio plieno kevalo įtempių bei deformacijų būvį įvairiomis konstrukcijos ap-

krovimo stadijomis. Tuščiavidurių betonšerđžių vamzdinių plieno strypų deformacinių savybių ir jų įlinkių nustatymo metodų tyrimai leidžia tvirtinti, kad tokie strypai gali būti naudingai taikomi tiesiųjų trilankstčių kabamųjų konstrukcijų baigtinio lenkiamojo standumo elementams.

#### Literatūra

1. JUOZAPAITIS, A. *Tiesių baigtinio lenkiamojo standumo strypų kabamoji konstrukcija*: Daktaro disertacijos santrauka. Vilnius: Technika, 2000. 36 p.
2. КАЛМИНЗЕР, И. *Работа изгибно-жестких нитей из прямолинейных стержней в упругом и упруго-пластическом состояниях*. Автореф. дис. ... канд. техн. н. Москва: МИСИ, 1985. 22 с.
3. ŠARAŠKINAS, V.; KVEDARAS A. Kabamosios betonšerđės konstrukcijos bandymo eiga ir rezultatai. *Statyba (Civil Engineering)*, VI t., Nr. 5. Vilnius: Technika, 2000, p. 315–321.
4. KVEDARAS, A. K.; ŠARAŠKINAS, V. Behaviour of hollow concrete-filled steel tubular members subjected to tension and bending. *Metal Structures: Design, Fabrication, Economy*. Rotterdam: Millpress, 2003, p. 105–110. ISBN 90-77017-75-5.
5. KVEDARAS, A. *Metalo konstrukcijos iš betonu užlietų vamzdžių*: Mokomoji knygelė. Vilnius, 1985. 99 p.
6. КАЧУРИН, В. К. *Теория висячих систем*. Ленинград–Москва, Госстройиздат, 1962. 222 с.
7. МОСКАЛЕВ, Н. С. *Конструкции висячих покрытий*. Москва: Стройиздат, 1980. 336 с.

**Viačeslavas ŠARAŠKINAS**. Ph D, Assoc Prof of Dept of Steel and Timber Structures (since 2001). Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

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

**Balys VALIŪNAS**. Assoc Prof Dr Vilnius Gediminas Technical University, Dept of Steel and Timber Structures.

Research interests: timber, composite timber-concrete and steel-concrete structures.