



## PLIENIŲ TINKLINIŲ ARKINIŲ TILTŲ GEOMETRINIO NETIESIŠKUMO VERTINIMAS

Sigutė ŽILĖNAITĖ

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*  
*El. paštas [sigute.zilenaite@vgtu.lt](mailto:sigute.zilenaite@vgtu.lt)*

**Santrauka.** Arkiniai tiltai – vieni populiariausių, seniausių ir grakščiausių tiltų, statomų miesto ir užmiesčio zonose. Tačiau dėl dominuojančios ašinės gniuždymo jėgos arkos tampa ypač jautrios stabilumo praradimui. Siekiant užtikrinti pavienių arkų ir arkinių tiltų pastovumo sąlygas, vertinami ne tik arkos geometriniai rodikliai, darbo stadijos, pradiniai įtempiai, geometriniai netobulumai, bet ir netiesinė konstrukcijos elgsena. Geometrinis netiesiškumas ypač dominuoja daug kartų statiškai neišsprendžiamose sistemose, tokiose kaip tinkliniai arkiniai tiltai. Tačiau šios XX a. viduryje atsiradusios naujos arkinių tiltų konstrukcinės formos geometrinio netiesiškumo vertinimas pateiktas minimaliai. Straipsnyje pateikiamas plieninių arkinių tiltų su vertikaliomis pakabomis ir tinklinių arkinių tiltų geometrinio netiesiškumo vertinimas skaitiniais metodais. Nustatomas plieninių tinklinių arkinių tiltų įtempių-deformacijų būvis ir esminiai elgsenos ypatumai, veikiant simetrine ir asimetrine pėsčiųjų apkrovomis.

**Reikšminiai žodžiai:** netiesinė elgsena, plieninis tiltas, skaitinis eksperimentas, tinklinė arka.

### Įvadas

Arkiniai tiltai – vieni populiariausių, seniausių ir grakščiausių tiltų, statomų miesto ir užmiesčio zonose. Tačiau dėl dominuojančios ašinės gniuždymo jėgos arkos tampa ypač jautrios stabilumo praradimui arkų plokštumoje ir iš plokštumos. Pirmieji pavienių arkų ir arkinių tiltų elgsenos tyrimai buvo atliekami esant tampriai stadijai (Galambos 1988; Ziemian 2010). Ilgainiui tyrimai prasiplėtė ir esant tampriai plastinei bei plastinei stadijoms. Didelis indėlis į pavienių lanksčiai ir standžiai įtvirtintų plieninių arkų elgsenos ypatumus yra įdėtas Australijos mokslininkų, tokių kaip Pi, Trahair ir Bradford, kurie vertino ne tik pavienių arkų darbo stadiją, elemento ir sistemos geometrinis rodiklius (lenkiamasis standis, arkos pakylės aukštis ir tarpatramio ilgis), bet ir pradinius įtempius, geometrinis nuokrypius ir konstrukcijos geometrinį netiesiškumą (Pi, Trahair 1999; Pi, Bradford 2004; Pi *et al.* 2008; Zhao *et al.* 2013). Todėl plieninių pavienių arkų ir arkų, sujungtų su styga pakabomis, geometrinio netiesiškumo vertinimas dažniausiai siejamas su arkos pastovumo užtikrinimu arba stabilumo praradimu (Pi *et al.* 2007).

Netiesinė konstrukcijos elgsena yra ypač aktuali statiškai neišsprendžiamoms sistemoms, tokioms kaip tinkliniai arkiniai tiltai. Naujos arkinių tiltų konstrukcinės formos geometrinis netiesiškumas buvo pradėtas vertinti tik nuo

XX a. pirmos pusės ir apsiriboja tik dviem publikacijomis. Valenzuela *et al.* (2010) atliko tradicinių ir tinklinių arkinių tiltų geometrinio netiesiškumo vertinimą. Baigtinių elementų programa atliekant netiesinį skaičiavimą, buvo priimti ir geometriniai nuokrypiai. Buvo nustatyta, kad lenkimo momentai, atliekant antrosios eilės analizę, padidėja 1 % ir geometrinio netiesiškumo galima nevertinti. Tokias pačias išvadas pateikia ir Smit (2013) savo magistro darbe.

Dėl kryžminio pakabų išdėstymo vienas iš pagrindinių tinklinių arkinių tiltų privalumų yra apie 10–14 kartų (Larssen, Jakobsen 2011) arkoje ir apie 5–7 kartus (Larssen, Jakobsen 2011) standumo sijoje mažesni lenkimo momentai nuo tolygiai išskirstytos apkrovos, lyginant su tradiciniais arkiniais tiltais. Apskaičiuota, kad tinklinių arkinių tiltų masė apie 60–70 % (Brunn *et al.* 2004; Graße *et al.* 2004) mažesnė už arkinių tiltų su vertikaliomis pakabomis. Dėl tinklelio palaikomojo efekto taip pat mažesni ir vertikalieji poslinkiai, konstrukcija nejautri asimetriniam apkrovimui bei stabilumo praradimui (Teich 2011). Nustatyta, kad tinklinių arkinių tiltų arkų kritinė jėga yra apie 4 kartus didesnė už kritinę jėgą arkų su vertikaliomis pakabomis (Larssen, Jakobsen 2011). O bendrasis tinklinių arkinių tiltų pastovumas priklauso nuo pakabų skaičiaus, kampo tarp susikertančių kampų ir arkos lenkiamojo standžio (Schanack 2009).

Straipsnyje pateikiamas plieninių arkinių tiltų su vertikaliomis pakabomis ir tinklinių arkinių tiltų geometrinio netiesiškumo vertinimas skaitiniais metodais. Nustatomas plieninių tinklinių arkinių tiltų įtempių-deformacijų būvis ir esminiai elgsenos ypatumai, veikiant simetrine ar asimetrine pėsčiųjų apkrovomis.

### Plieninių arkinių tiltų įtempių-deformacijų būvis

Arkinių tiltų konstrukcijos elgsena priklauso nuo daugelio veiksnių, tokių kaip apkrovos dydis ir apkrovimo pobūdis, tilto statinė schema, visos sistemos ir atskirų elementų geometriniai rodikliai. Tačiau, deformuojantis konstrukcijai, matmenys ir geometrija kinta vienu metu. Atitinkamai negalioja mažų poslinkių principas, negalima taikyti statybinės mechanikos tiesinės teorijos metodų. Todėl geometriškai netiesinės konstrukcijos būvį apibūdinančios deformacijų ir poslinkių priklausomybės turi netiesinių narių (Karkauskas, Popov 2009):

$$[K\tau]u_e = F, \quad (1)$$

čia  $[K\tau]$  – visos konstrukcijos globalioji tangentinė standumo matrica;  $u_e$  – konstrukcijos globaliųjų poslinkių vektorius;  $F$  – apkrovos vektorius.

Geometriniam netiesiškumui vertinti modeliuojami keturi neskėtrieji plieninių arkinių tiltų modeliai baigtinių elementų programos SOFiSTiK dvimatėje erdvėje: vienas arkinis tiltas su vertikaliomis pakabomis (1 pav., a) ir trys tinkliniai arkiniai tiltai (1 pav., b, c, d). Parenkami originalūs kampai tarp susikertančių pakabų, kurie atitinkamai lygūs  $\alpha = 9^\circ$  (2 pav., b),  $\alpha = 28^\circ$  (2 pav., c) ir  $\alpha = 41^\circ$  (2 pav., d). Tinklinių arkinių tiltų tinklelio geometrija yra apskritiminė (Brunn, Schanack 2003; Brunn *et al.* 2004): pakabos, kertančios arką pastoviu kampu, dalija ją į lygias dalis. Tokiu būdu vertikaliuosios apkrovos perkeliama kiek įmanoma radialine kryptimi ir pasireiškia vietinis arkos

spindulio kreivumas, o visa tai sukelia mažus lenkimo momentus arkoje ir atsparumą klupimui. Vertikalios pakabos išbrėžtos iš tinklinės arkos pakabų ir arkos sankirtos taškų. Yra 26 pakabos arka su styga jungiamos lanksčiai.

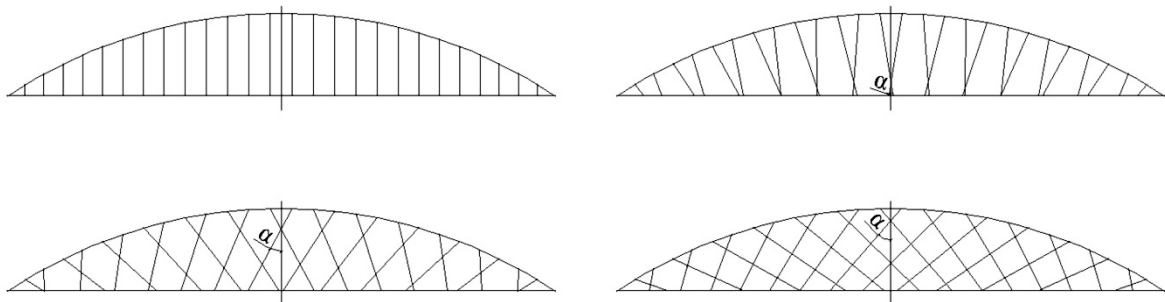
Visų modelių arkinių tiltų arkos, standumo sijos ir pakabų geometriniai rodikliai yra vienodi. Arkos ir standumo sijos lenkiamųjų standžių santykis  $I_d/I_s$  lygus 1. Pakabos projektuojamos iš pilnavidurių vamzdžių. Visų tinklinių arkinių tiltų modelių (1 pav., b, c, d) pakabos yra tempiamos.

Arkos pakylas aukštis lygus 15 % nuo tilto tarpatramio ilgio pagal Tveit (2011) rekomendacijas. Tiltas apkraunamas tolygiai išskirstyta nuolatine ( $g = 7,5$  kN/m) ir kintamąja apkrovomis ( $v = 7,5$  kN/m) per standumo siją per visą tilto tarpatramį (simetrinis apkrovimas) ir puse tarpatramio (asimetrinis apkrovimas).

1 lentelėje pateikiami skaitiniai skaičiavimo rezultatai kiekvienam arkos modeliui, esant simetrinei apkrovai, lenkimo momentų, ašinių jėgų ir vertikaliųjų poslinkių tarpatramio viduryje, veikiamų arkoje (kairioji lentelės sritis) ir standumo sijoje (dešinioji lentelės sritis), geometriškai tiesinio ir netiesinio skaičiavimo rezultatų skirtumas išreikštas procentais.

Analogiški skaičiavimo rezultatai pateikiami 2 lentelėje, esant asimetrinei apkrovai: lenkimo momentų, ašinių jėgų ir vertikaliųjų poslinkių tarpatramio viduryje, veikiamų arkoje (kairioji lentelės sritis) ir standumo sijoje (dešinioji lentelės sritis), geometriškai tiesinio ir netiesinio skaičiavimo rezultatų skirtumas išreikštas procentais.

Ašinių jėgų prieaugis visų modelių tiltams, taikant tiesinio ir netiesinio skaičiavimo būdą, yra minimalus. Kai standumo sija apkraunama simetrine ir asimetrine apkrovomis, tinklinių arkinių tiltų arkoje ir standumo sijoje skirtumas tesiekia 0,29 %. Tradicinių arkinių tiltų standumo sijoje rezultatai analogiški, o arkoje ašinių jėgų skirtumas perkopia 1 % nuo simetrinės apkrovos. Kai standumo sija



1 pav. Arkinis tiltas su vertikaliomis pakabomis (a), tinklinis arkinis tiltas,  $\alpha = 9^\circ$  (b); tinklinis arkinis tiltas,  $\alpha = 28^\circ$  (c); tinklinis arkinis tiltas,  $\alpha = 41^\circ$  (d)

Fig. 1. Arch bridge with vertical hangers (a); network arch bridge,  $\alpha = 9^\circ$  (b); network arch bridge,  $\alpha = 28^\circ$  (c); network arch bridge,  $\alpha = 41^\circ$  (d)

1 lentelė. Simetriškai apkrautų tiltų arkos ir standumo sijos geometrinio netiesiškumo lyginamoji analizė

Table 1. Comparative analysis of geometrical nonlinearity of the arch and girder under symmetric loading

1	Arka				Standumo sija			
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 9^\circ$	$\alpha = 28^\circ$	$\alpha = 41^\circ$	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 9^\circ$	$\alpha = 28^\circ$	$\alpha = 41^\circ$
2	3	4	5	6	7	8	9	
$M^T$ , kNm	54,65	27,24	16,51	13,19	62,87	30,76	23,71	22,98
$M^{NT}$ , kNm	67,3	26,13	16,32	13,54	78,14	28,14	21,53	20,3
%	23,15	4,25	1,16	2,65	24,29	9,31	10,13	13,20
$N^T$ , kN	867,97	789,39	808,11	825,17	739,4	750,62	744,57	708,83
$N^{NT}$ , kN	877,53	789,21	806,91	823,73	740,2	750,81	744,69	710,86
%	1,10	0,02	0,15	0,17	0,11	0,03	0,02	0,29
$w^T$ , mm	504,37	105,12	129,8	132,95	509,77	119,45	137,23	145,53
$w^{NT}$ , mm	562,6	105,47	129,79	132,7	566,42	118,88	137,1	145,18
%	11,55	0,33	0,01	0,19	11,11	0,48	0,09	0,24

2 lentelė. Asimetriškai apkrautų tiltų arkos ir standumo sijos geometrinio netiesiškumo lyginamoji analizė

Table 2. Comparative analysis of geometrical nonlinearity of the arch and girder under asymmetric loading

1	Arka				Standumo sija			
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 9^\circ$	$\alpha = 28^\circ$	$\alpha = 41^\circ$	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 9^\circ$	$\alpha = 28^\circ$	$\alpha = 41^\circ$
2	3	4	5	6	7	8	9	
$M^T$ , kNm	205,09	50,35	16,41	12,4	241,03	40,34	24,37	22,88
$M^{NT}$ , kNm	241,59	50,97	16,78	12,43	266,98	36,85	22,42	20,47
%	17,80	1,23	2,25	0,24	10,77	9,47	8,70	11,77
$N^T$ , kN	664,13	674,16	698,04	712,97	554,63	618,63	615,21	610,87
$N^{NT}$ , kN	640,98	673,94	696,93	710,99	614,31	618,65	616,02	612,25
%	3,61	0,03	0,16	0,28	10,76	0,00	0,13	0,23
$w^T$ , mm	2519,29	150,17	99,89	100,49	2522,87	174,68	107,08	115,36
$w^{NT}$ , mm	3025,65	149,34	99,94	100,3	2878,84	172,69	107,02	114,76
%	20,10	0,56	0,05	0,19	14,11	1,15	0,06	0,52

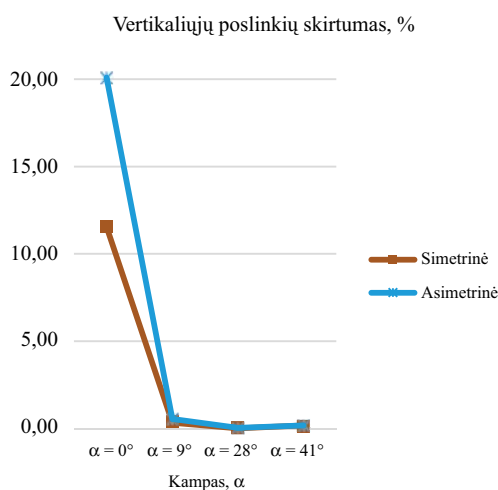
apkraunama asimetrine apkrova, ašinių jėgų skirtumas arkoje lygus 3,61 %, o standumo sijoje – 10,76 %. Taikant netiesinio skaičiavimo būdą, ašinių jėgų prieaugis didesnis dėl mažesnių nei įprastai arkinių tiltų su vertikaliomis pakabomis pagrindinių elementų geometrinių rodiklių (lenkimo standžio, skerspjūvio ploto). O tai atitinkamai lemia ir didesnę įtempimų-deformacijų būvio prieaugį. Apibendrinant galima daryti prielaidą, kad ašinių jėgų reikšmėms poveikio neturi geometriškai netiesinė konstrukcijos elgsena. Tai ypač aktualu, atliekant plieninių arkinių tiltų stabilumo analizę skaitiniais metodais, mažinami kompiuterinės programos naudojami resursai.

2 pav. grafiko pavidalu pateikti arkos vertikaliųjų poslinkių skirtumai, išreikšti procentais, nuo simetrinio ir asimetrinio apkrovimų. Arkų su standumo sija sujungtų vertikaliomis pakabomis vertikaliųjų poslinkių tarpatrio

viduryje skirtumas arkoje tarp geometriškai tiesinio ir netiesinio skaičiavimų lygus 23,15 % (simetrinė apkrova) ir 17,8 % (asimetrinė apkrova). Tinklinių arkinių tiltų vertikaliųjų poslinkių skirtumai lygūs 4,25 % (simetrinė apkrova) 2,25 % (asimetrinė apkrova).

Simetriškai apkrautų tinklinių arkinių tiltų arkoje ir standumo sijoje esantys vertikalieji poslinkiai vidutiniškai nuo 4 iki 5 kartų didesni už poslinkius, esančius tradiciniuose arkiniuose tiltuose. Esant asimetrinei apkrovai, vertikaliųjų poslinkių santykis išauga vidutiniškai nuo 17 iki 30 kartų tiek arkoje, tiek standumo sijoje.

3 pav. grafiko pavidalu pateikti arkos lenkimo momentų skirtumai, išreikšti procentais, nuo simetrinio ir asimetrinio apkrovimų. Arkų su standumo sija sujungtų vertikaliomis pakabomis lenkimo momentų skirtumas arkoje tarp geometriškai tiesinio ir netiesinio skaičiavimų



2 pav. Vertikaliųjų poslinkių skirtumas procentais arkoje, esant simetrinei ir asimetrinei apkrovai

Fig. 2. Vertical displacements results of the arch under symmetric and asymmetric loadings in percent

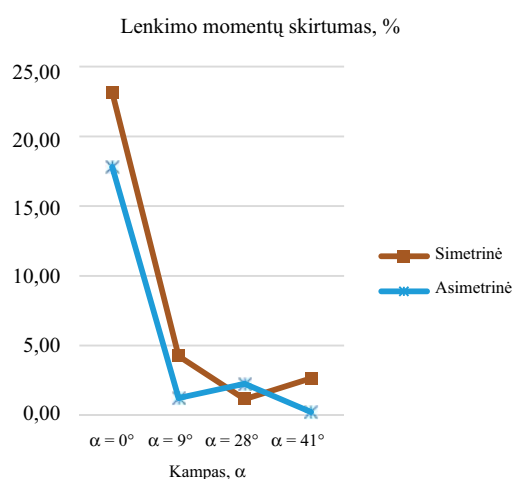
lygus 23,15 % (simetrinė apkrova) ir 17,8 % (asimetrinė apkrova). O tinklinių arkinių tiltų lenkimo momentų skirtumai lygūs 4,25 % (simetrinė apkrova) 2,25 % (asimetrinė apkrova).

Simetriškai apkrautų tinklinių arkinių tiltų arkoje ir standumo sijoje veikiantys lenkimo momentai vidutiniškai nuo 2,5 iki 4 kartų didesni už lenkimo momentus, veikiančius tradiciniuose arkiniuose tiltuose. Esant asimetrinei apkrovai, lenkimo momentų santykis išauga vidutiniškai nuo 7,5 iki 19,5 karto tiek arkoje, tiek standumo sijoje.

Iš atlikto skaitinio eksperimento rezultatų su baigtinių elementų programa SOFiSTiK matyti, kad tinkliniai arkiniai tiltai ne tik standesni iki 30 kartų už tradicinius su vertikaliomis pakabomis arkinius tiltus, bet ir nejautrūs asimetrinei apkrovai. Vertikaliųjų poslinkių santykis tarp asimetrinio ir simetrinio apkrovimų tradiciniuose arkiniuose tiltuose vidutiniškai lygus 5 kartus, o tinkliniuose arkiniuose tiltuose santykis tesiekia 1,5 karto.

## Išvados

Straipsnyje įvertintas plieninių arkinių tiltų geometrinis netiesiškumas. Sugretintas tradicinių arkinių tiltų su vertikaliomis pakabomis ir tinklinių arkinių tiltų įtempimų-deformacijų būvis, atliekant geometriškai tiesinį ir netiesinį skaičiavimą baigtinių elementų programa SOFiSTiK. Skaitiniu eksperimentu nustatyta ryški arkinių tiltų su vertikaliomis pakabomis geometriškai netiesinė elgsena: lenkimo momentų skirtumas – 23,15 %, vertikaliųjų poslinkių skirtumas – 11,55 % (simetrinė apkrova); lenkimo momentų skirtumas – 17,80 % ir vertikaliųjų poslinkių skirtumas – 20,10 % (asimetrinė apkrova).



3 pav. Lenkimo momentų skirtumas procentais arkoje, esant simetrinei ir asimetrinei apkrovai

Fig. 3. Bending moments results of the arch under symmetric and asymmetric loadings in percent

Nepaisant to, kad tinkliniai arkiniai tiltai yra daug kartų statiškai neišsprendžiama sistema, jų elgsena yra geometriškai tiesinė. Nuo simetrinės apkrovos geometriškai tiesinio ir netiesinio skaičiavimo lenkimo momentų skirtumas arkoje siekia iki 4,25 %, o vertikaliųjų poslinkių – iki 0,33 %. Veikiant tiltą asimetrine apkrova, lenkimo momentų skirtumas arkoje siekia iki 2,25 %, o vertikaliųjų poslinkių – iki 0,56 %.

Ašinių jėgų prieaugis tiek tinklinių, tiek tradicinių arkinių tiltų arkoje nuo bet kurio apkrovos pobūdžio nedidelis (iki 3,61 %).

Būtina pabrėžti, kad tinkliniai arkiniai tiltai, priešingai nei tradiciniai, nejautrūs asimetrinei apkrovai: vertikaliųjų poslinkių santykis tarp asimetrinės ir simetrinės apkrovų tesiekia 1,5 karto.

Gauti skaitinės analizės rezultatai aktualūs tolimesniems plieninių tinklinių arkinių tiltų arkų skaičiuojamojo ilgio nustatymo ir elgsenos tyrimams.

## Literatūra

- Brunn, B.; Schanack, F. 2003. *Calculation of a double track railway network arch bridge applying the European standards*: Diploma thesis. Technische Universität Dresden, Grimstad, August.
- Brunn, B.; Schanack, F.; Steimann, U. 2004. Network arches for railway bridges, in P. Roca, C. Molins (Eds.). *Arch bridges in advances in assessment, structural design and construction*. Barcelona: CIMNE, 1–9.
- Galambos, T. V. (Ed.). 1988. *Guide to stability design criteria for metal structures*. 4<sup>th</sup> ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 669–703.
- Graße, W.; Teich, S.; Tveit, P.; Wendelin, S. 2004. Network arches for road bridges, *Arch bridges Arch '04*, 17–19 November, Barcelona. CIMNE, 1–10.

- Karkauskas, R.; Popov, M. 2009. Netamprių geometriškai netiesinių plieninių rėminių konstrukcijų skerspjūvių optimizavimo algoritmas, *Statybinės konstrukcijos ir technologijos* 1(1): 10–22.
- Larssen, R. M.; Jakobsen, S. E. 2011. Brandangersundet bridge – a slender and light network arch, taller, longer, lighter, in *IABSE-IASS-2011 London Symposium Report*, 20–23 September 2011, London, United Kingdom.
- Pi, Y.-L.; Bradford, M. A.; Tin-Loi, F.; Gilbert, R. I. 2007. Geometric and material nonlinear analysis of elastically restrained arches, *Engineering Structures* 29(3): 283–295. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.01.016>
- Pi, Y.-L.; Bradford, M. A. 2004. In-plane strength and design of fixed steel I-section arches, *Engineering Structures* 26(3): 291–301. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2003.09.011>
- Pi, Y.-L.; Bradford, M. A.; Tin-Loi, F. 2008. In-plane strength of steel arches, *Advanced Steel Construction* 4(4): 306–322.
- Pi, Y.-L.; Trahair, N. S. 1999. In-plane buckling and design of steel arches, *Journal of Structural Engineering*, ASCE 125(11): 1291–1298. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1999\)125:11\(1291\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1999)125:11(1291))
- Schanack, F. 2009. Berechnung der Knicklast in Bogenebene von Netzwerkbögen, *Stahlbau* 86(5): 249–255. <http://dx.doi.org/10.1002/bate.200910022>
- Smit, T. J. M. 2013. *Design and construction of a railway arch bridge with a network hanger arrangement*: Master's thesis. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Teich, S. 2011. Entwicklung allgemeiner Entwurfsgrundsätze für Hängernetze von Netzwerkbogenbrücken, *Stahlbau* 80(2): 100–111. <http://dx.doi.org/10.1002/stab.201001395>
- Tveit, P. 2011. *About the network arch* [interaktyvus]. 2<sup>th</sup> ed. January 2011. Agder University, N-4876 Grimstad, Norway [žiūrėta 2016 m. sausio 25 d.]. Prieiga per internetą: <http://home.uia.no/pert/index.php/Home>
- Valenzuela, M. A.; Rojas, F. R.; Aparicio, V. C. 2010. Finite-element nonlinear geometric analysis for a proposal steel arch bridge over the Llobregat River in Barcelona, in *ARCH'10 – 6<sup>th</sup> International Conference on Arch Bridges*, 11–13 October 2010, Fuzhou, China, 576–583.
- Zhao, S.-Y.; Guo Y.-L.; Dou, C. 2013. Geometric imperfection effects on out-of-plane inelastic buckling loads of lateral braced arches, in *Proceedings of the 10<sup>th</sup> Pacific Structural Steel Conference (PSSC 2013)*, 8–11 October 2013, Singapoure, 181–186. [http://dx.doi.org/10.3850/978-981-07-7137-9\\_072](http://dx.doi.org/10.3850/978-981-07-7137-9_072)
- Ziemian, R. D. 2010. *Guide to stability design criteria for metal structures*. 6<sup>th</sup> ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 762–806. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470549087.ch17>

## GEOMETRICAL NONLINEARITY ANALYSIS OF THE STEEL NETWORK ARCH BRIDGES

S. Žilėnaitė

Abstract

Arch bridges are one of the popular, oldest and graceful bridges which are being built in zones of the city and out of the city. However arches becomes especially sensitive to their buckling response due to dominated compressive force in the arch. In order to ensure stability conditions of the individual arch and arch bridges, it is estimated not just geometrical factor of arch, residual stress, work conditions, geometric imperfections but geometrical nonlinearity too. Geometric nonlinearity especially dominates in many times static indeterminable systems such as network arch bridges. However there are a few represents of estimation of geometric nonlinearity of the new construction form of the arch bridges created in a middle of 20<sup>th</sup> century. This paper represents estimation of geometric nonlinearity with numerical method of the steel arch bridges with vertical hangers and network arch bridges. There are determined stress-strain law and principal behavior of the steel network arch bridges under symmetric and asymmetric pedestrian loadings.

**Keywords:** nonlinear analysis, network arch bridge, steel bridge, numerical experiment.