

CENTRIŠKAI GNIUŽDOMŲ SPRAGOTŪJŲ STRYPŲ
PASTOVUMAS PAGAL STR IR EC3Vaidotas Šapalas¹, Gintas Šaučiuvėnas²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹vaidotas.sapalas@vgtu.lt; ²gintas.sauciuvenas@vgtu.lt

Įteikta 2011 09 16; priimta 2011 11 30

Santrauka. Straipsnyje pateikta plieninių spragotinio skerspjuvio kolonų laikomųjų galių, apskaičiuotų vadovaujantis Lietuvoje galiojančių plieninių konstrukcijų projektavimo normų STR 2.05.08:2005 ir Eurokodo 3 nuostatomis, lyginamoji analizė. Skaičiavimai buvo atliekami vienodomis pradinėmis sąlygomis, tik naudoti skirtingi skaičiavimo metodai. Kai kuriais atvejais gautieji rezultatai yra labai prieštaringi ir reikalingi išsamesnės analizės ar eksperimentinių tyrimų.

Reikšminiai žodžiai: spragotosios kolonos, centriškai gniuždomos kolonos pastovumas, vienos juostos pastovumas, metodas, lyginimas, STR, Eurokodas 3.

1. Įvadas

Atsiradus naujiems konstrukcijų ir jų elementų skaičiavimo metodams ar pereinant nuo vieno projektavimo normų prie kitų, visuomet kyla klausimas – kuo gi skiriasi skaičiavimo metodikos ir jomis remiantis gauti rezultatai? Tai tapo labai aktualu pereinant nuo Lietuvoje galiojančio statybos techninio reglamento (STR 2.05.08:2005) prie Eurokodo (Eurocode 3).

Platesnę lyginamąją Lietuvoje galiojančių plieninių ir aliumininių konstrukcijų bei Eurokodo 3 projektavimo metodų analizę atliko A. Daniūnas su kolegomis (Daniūnas *et al.* 2006). Minėtoje publikacijoje nebuvo lyginami spragotinio skerspjuvio elementų skaičiavimo metodų rezultatai.

Šiame straipsnyje pateikiama lyginamoji plieninių spragotųjų centriškai gniuždomų kolonų laikomųjų galių, apskaičiuotų remiantis STR 2.05.08:2005 ir Eurokodo 3 nuostatomis, analizė. Lyginamoji plieninių spragotųjų kolonų analitinių metodų rezultatų analizė pastaruoju metu nėra dažnai taikoma, nes patys metodai netobulinami greitai. Greičiau tobulėja skaitiniai metodai ir programinė įranga, todėl dažniau lyginami analitiniais ir skaitiniais metodais gauti rezultatai (Guo, Wang 2009; Kalochairetis, Gantes 2011),

atliekama analitinė spragotųjų kolonų elgsenos analizė (Razdolsky 2005, 2011) arba eksperimentiškai tiriama konstrukcijų elgsena. Sahoo (2004) su kolegomis bei Hashemi ir Jafari (2009) atliko spragotųjų plieninių kolonų su antdėklais eksperimentinius tyrimus.

Pastaruoju metu daugiau dėmesio skiriama atvirųjų šaltai formuotų pavienių ar sudėtinio skerspjuvio elementų elgsenos tyrimams (Reyes, Guzmán 2011; Whittle, Ramseyer 2009). Nerūdijančiojo plieno pavienių lankstyųjų lovinių elementų su lentynos užlankomis eksperimentiniai klupumo tyrimai atlikti Becque ir Rasmusseno (2009).

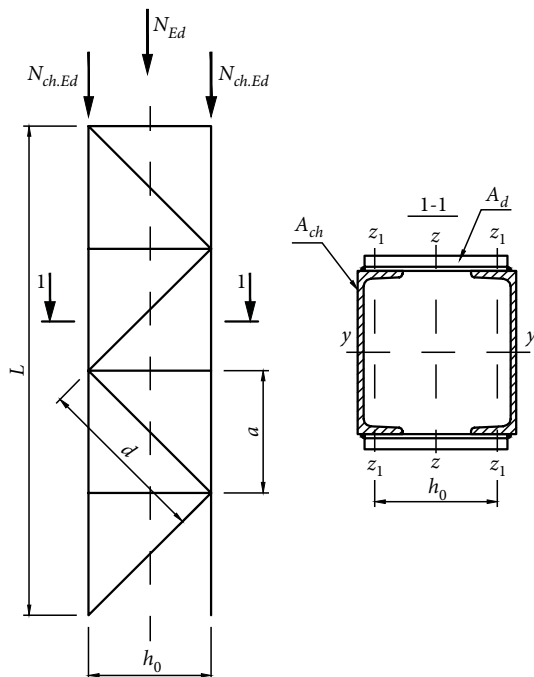
2. Skaičiavimo metodai

2.1. Skaičiavimas pagal STR metodiką

Skaičiuojant spragotąją koloną (1 pav.) reikia tikrinti: vienos juostos pastovumą apie y - y ašį nuo juostoje veikiančios jėgos (naudojant skaičiuojamąjį kolonos ilgį $l_{eff,y} = L$, atstumui tarp kolonos įtvirtinimo apie y - y ašį taškų):

$$\frac{N_{ch.Ed}}{N_{c,Rd,y}} \leq 1,0, \quad (1)$$

čia $N_{ch.Ed}$, $N_{c,Rd,y}$ – ašinė juostos jėga ir vienos centriškai gniuždomos juostos laikomoji galia apie y - y ašį.



1 pav. Centriškai gniuždoma spragotoji kolona
Fig. 1. The axial compressed built-up column

Pagal STR 2.05.08:2005 reikia tikrinti ir visos kolonos kaip sudėtinio strypo pastovumą apie z-z ašį:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd,z}} \leq 1,0, \quad (2)$$

čia $N_{c,Rd,z}$ – spragotosios centriškai gniuždomos kolonos laikomoji galia apskaičiuota įvertinant lyginamąjį liaunį (naudojant skaičiuojamąjį ilgį $l_{eff,z}$):

$$\lambda_L = \sqrt{\lambda_z^2 + \alpha_1 \frac{A_{ch}}{A_d}}. \quad (3)$$

Taip pat reikia patikrinti vienos juostos pastovumą tarp tinklelio tvirtinimo taškų apie vietinę z_1-z_1 ašį (1 pav.):

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{c,Rd,z_1}} \leq 1,0, \quad (4)$$

čia N_{c,Rd,z_1} – vienos centriškai gniuždomos juostos laikomoji galia apie z_1-z_1 ašį (naudojant skaičiuojamąjį ilgį $l_{eff} = a$, 1 pav.).

2.2. Skaičiavimas pagal EC3 metodiką

Skaičiuojant pagal EC3 1-1 dalį pirmiausia skaičiuojamas spragotojo elemento šlyties standis:

$$S_v = \frac{2 \cdot E \cdot A_d \cdot a \cdot h_0^2}{d^3}. \quad (5)$$

Tuomet skaičiuojama didžiausia spragotojo elemento lenkiamojo momento reikšmė, atsižvelgiant į antrosios eilės poveikius:

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}, \quad (6)$$

čia $e_0 = L/500$ – išlinkio nuokrypa; $M_{Ed}^I = 0$ – kolonos lenkiamasis momentas; N_{cr} – spragotojo elemento efektyvioji kritinė jėga:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{eff}}{L_{eff,z}^2}, \quad (7)$$

čia I_{eff} – efektyvusis spragotojo elemento skerspjūvio inercijos momentas.

Nustatoma vienos juostos ašinė jėga:

$$N_{ch,Ed} = 0,5 \cdot N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_{ch}}{2 \cdot I_{eff}}. \quad (8)$$

Pagal EC3 metodiką turi būti patikrinta juostų klumpamoji galia.

Vienos juostos klumpumas apie y-y ašį:

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd,y}} \leq 1,0, \quad (9)$$

čia $N_{c,Rd,y}$ – vienos centriškai gniuždomos juostos atsparis apie y-y ašį (imant skaičiuojamąjį ilgį $l_{eff,y} = L$, atstumui tarp kolonos įtvirtinimo apie y-y ašį taškų).

Vienos juostos klumpumą tarp tinklelio tvirtinimo taškų apie z_1-z_1 ašį pagal (1 pav.):

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd,z_1}} \leq 1,0, \quad (10)$$

čia N_{b,Rd,z_1} – vienos centriškai gniuždomos juostos atsparis apie z_1-z_1 ašį (naudojant skaičiuojamąjį ilgį $l_{eff} = a$, 1 pav.).

Visos spragotosios kolonos pastovumo kaip sudėtinio strypo apie z-z ašį pagal EC3 metodiką tikrinti nereikia.

Kaip matyti iš pateiktų spragotųjų kolonų skaičiavimo metodikų, esminis jų skirtumas tas, kad pagal STR spragotosios kolonos abi juostos vertinamos kaip veikiamos vienodo dydžio ašinių jėgų, o pagal EC3 juostos skaičiuotinė gniuždomoji jėga kintama.

3. Variantinis skaičiavimas

Šis uždavinys gali būti sprendžiamas dviem būdais: pirmuoju – kolonos ilgis pastovus, o skirtingi liauniai gaunami imant mažesnius skerspjūvius ir keičiant tinklelio matmenis; antruoju būdu – kolonos skerspjūvis ir tinklelis yra pastovus, o reikiamas liaunis pasiekiamas keičiant kolonos ilgį. Taikant antrąjį būdą lengviau analizuoti bendrąją kolonos elgseną, išvengiama sortimento elementų diskretiškumo.

Buvo pasirinkta spragotoji kolona iš dviejų juostų (loviai UPN300), tinklėlis – kampuočiai L50×5 (1 pav.).

Nagrinėti du atvejai:

1 atvejis:

- kolonos liaunis apie z - z ašį kinta – $\lambda_z = 50$ –200;
- atstumas tarp juostų centrų – $h_0 = 0,3; 0,6; 0,9$ m;
- kolonos skaičiuojamasis ilgis – $L_{eff,z} = \lambda_z \cdot i_z$;
- kolonos geometrinis ilgis – $L = L_{eff,z}$;
- kolonos liaunis apie y - y ašį – $\lambda_y = \lambda_z$;
- kolonos skaičiuojamasis ilgis – $L_{eff,y} = \lambda_y \cdot i_{ch,y}$.

Pagal STR metodiką kolona suprojektuota taip, kad būtų iki galo išnaudota laikomoji galia pagal (1) ir (2) išraiškas. Duomenys pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Kolonos duomenys, 1 atvejis

Table 1. Colum parameters, variant 1

$\lambda_y = \lambda_z$	L [m]	$L_{eff,y}$ [m]	N_{Ed} [kN]
50	15	5,85	3054,80
60	18	7,02	2849,18
70	21	8,19	2538,66
80	24	9,36	2229,82
90	27	10,53	1940,03
100	30	11,7	1670,20
110	33	12,87	1420,91
120	36	14,04	1202,44
130	39	15,21	1036,83
140	42	16,38	904,14
150	45	17,55	796,18
160	48	18,72	707,17
170	51	19,89	632,89
180	54	21,06	570,26
190	57	22,23	516,96
200	60	23,4	471,22

2 atvejis:

Toks pat kaip ir pirmasis tik:

- kolonos liaunis apie y - y ašį – $\lambda_y = \lambda_z/2$.

Kaip ir pirmuoju atveju, skaičiavimai buvo atlikti remiantis tokiu principu – pagal STR metodiką naudojant (2) išraišką kolona suprojektuota taip, kad būtų visiškai išnaudojama jos laikomoji galia. Skaičiavimo duomenys pateikti 2 lentelėje.

Pagal EC3 metodiką skaičiuota tokių pačių geometrinių rodiklių kolona (1 ir 2 lentelės).

2 lentelė. Kolonos duomenys, 2 atvejis

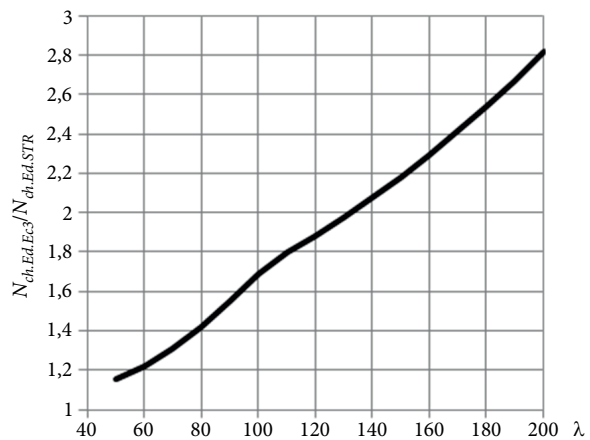
Table 2. Column parameters, variant 2

λ_z	λ_y	L [m]	$L_{eff,y}$ [m]	N_{Ed} [kN]
50	25	15	2,925	3054,80
60	30	18	3,51	2849,18
70	35	21	4,095	2538,66
80	40	24	4,68	2229,82
90	45	27	5,265	1940,03
100	50	30	5,85	1670,20
110	55	33	6,435	1420,91
120	60	36	7,02	1202,44
130	65	39	7,605	1036,83
140	70	42	8,19	904,14
150	75	45	8,775	796,18
160	80	48	9,36	707,17
170	85	51	9,945	632,89
180	90	54	10,53	570,26
190	95	57	11,115	516,96
200	100	60	11,7	471,22

4. Rezultatų sugretinimas

Skaičiavimų rezultatai: 1 atvejis, kai $\lambda_y = \lambda_z$.

Kaip jau minėta, pagal STR juostos skaičiuotinė gniuždomoji jėga $N_{ch.Ed.STR}$ yra pastovus dydis, priklausantis tik nuo išorinio poveikio dydžio, o pagal EC3 juostos skaičiuotinės gniuždomosios jėgos $N_{ch.Ed.EC3}$ dydis glaudžiai susijęs ne tik su pradiniu kolonos išlinkiu, bet ir su liaunio bei kolonos ir jos skerspjūvio geometriniais rodikliais. 2 pav. skaičiuotinė gniuždomoji jėga juostoje pateikta santykiu: $N_{ch.Ed.EC3}/N_{ch.Ed.STR}$.



2 pav. $N_{ch.Ed.EC3}/N_{ch.Ed.STR}$ ir liaunio sąryšis

Fig. 2. $N_{ch.Ed.EC3}/N_{ch.Ed.STR}$ and slenderness relationship

Skaičiuojant spragotosios kolonos pastovumą apie $y-y$ ašį tiek pagal STR, tiek pagal EC3 metodiką reikia tikrinti vienos centriškai gniuždomos juostos pastovumą. Pagrindinis skirtumas tarp abiejų metodikų yra ašinės jėgos nustatymas vienoje juostoje $N_{ch,Ed}$. STR metodikoje ašinė jėga nustatoma paprastai – padalinus kolonoje veikiančią jėgą vienodai abiem juostoms, o pagal EC3 metodiką reikia skaičiuoti: šlyties standį S_y , spragotojo elemento efektyviąją kritinę jėgą N_{cr} . Tuomet nustatoma vienos juostos skaičiuotinė gniuždomoji jėga juostoje pagal (8) išraišką. Skaičiavimo rezultatai rodo, kad skaičiuotinė gniuždomoji jėga juostoje didesnė taikant EC3 metodiką (2 pav.). Esant liauniui 50, gniuždomosios jėgos skirtumas – 16 %. Kai liaunis 120 – gniuždomosios jėgos skirtumas 88 %. Kuo didesnis liaunis, tuo šis skirtumas didesnis.

Apskaičiavus spragotosios kolonos vienos juostos pastovumą apie $y-y$ ašį, pastovumas pagal EC3 metodiką yra nepakankamas, lyginant su STR metodika (3 pav.). Kai liaunis yra lygus 50, pastovumo atsargos skirtumas – 24 %. Jei liaunio reikšmė lygi 120, pastovumo atsargos skirtumas išauga iki 103 %. Taigi, didėjant liauniui, šis skirtumas taip pat didėja (3 pav.). Galima teigti, kad pastovumo apie $y-y$ ašį skaičiavimo rezultatai pagal EC3 metodiką yra su didesne atsarga nei pagal STR metodiką.

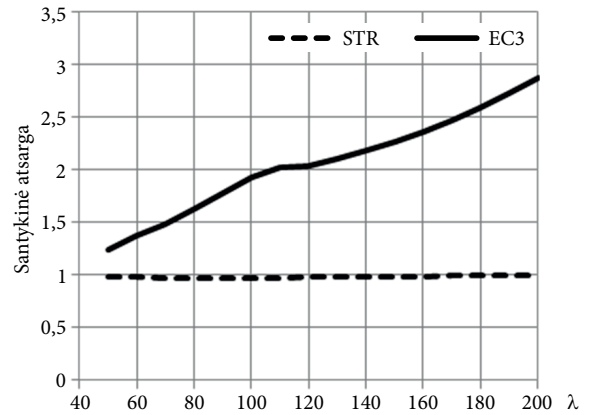
Skaičiuojant spragotosios kolonos pastovumą apie $z-z$ ašį pagal STR reikia tikrinti visos kolonos kaip spragotojo strypo pastovumą visai veikiančiajai ašinei jėgai N_{Ed} atlaikyti. Eurokode (EC3) nėra numatyta tikrinti spragotosios kolonos pastovumo apie $z-z$ ašį, veikiant bendrajam gniuždomajam poveikiui N_{Ed} .

Skaičiuojant vienos juostos klupumą juostos ašį apie vietinę z_1-z_1 juostos ašį, elemento skaičiuojamasis ilgis imamas lygus atstumui tarp tinklelio mazgų $l_{eff,z} = a$, o gniuždomoji jėga – $N_{ch,Ed}$. Tokios prielaidos naudojamos tiek STR, tiek EC3 metodikose.

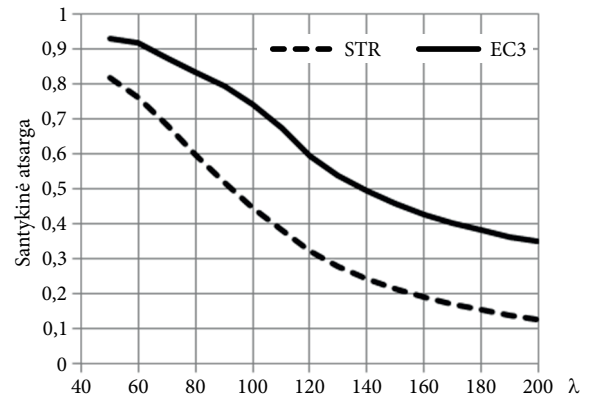
Pastovumo atsarga apskaičiuota pagal STR metodiką yra didesnė, lyginant su EC3 metodika. Kai liaunis didėja, šis skirtumas taip pat didėja (4 pav.). Taip yra dėl skirtingos metodikos, taikomos skaičiuojant vienos juostos gniuždomąją jėgą $N_{ch,Ed}$.

Kaip matyti iš 5 pav., pagal STR metodiką pavojingiausia yra kolonos bendrojo pastovumo netektis apie $y-y$ arba $z-z$ ašį. Vietinė juostos kluptis apie z_1-z_1 ašį tarp tinklelio jungimo taškų nėra pavojinga.

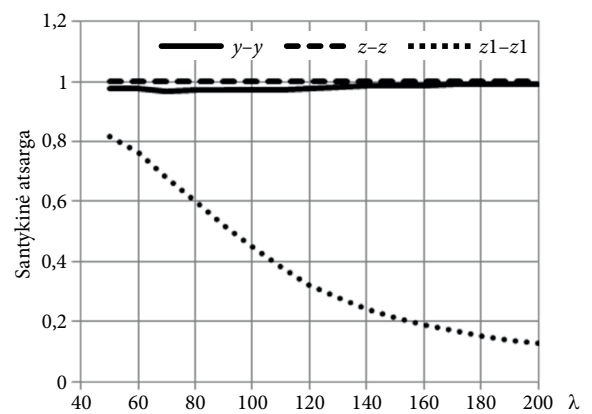
Pagal EC3 metodiką pavojingesnė yra vienos juostos kluptis apie $y-y$ ašį (6 pav.). O apie z_1-z_1 ašį yra



3 pav. Pastovumo atsarga apie $y-y$ ašį
Fig. 3. Stability round the $y-y$ axis

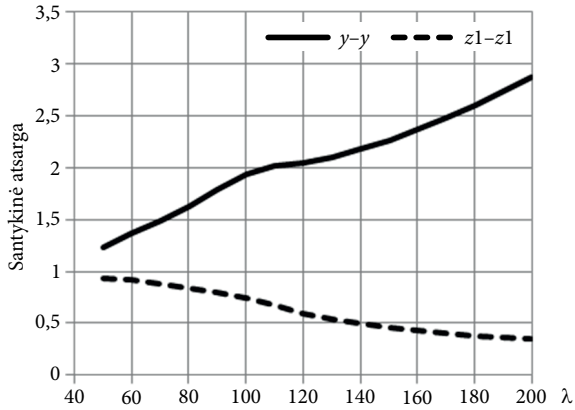


4 pav. Pastovumo atsarga apie z_1-z_1 ašį
Fig. 4. Stability round the z_1-z_1 axis



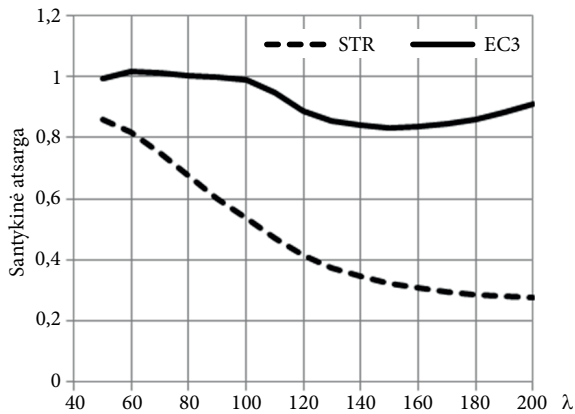
5 pav. Pastovumo atsarga STR
Fig. 5. Stability according to STR

pakankama pastovumo atsarga, ypač esant dideliems liauniams. Taip yra todėl, kad pagal EC3 neskaičiuojamas bendrasis kolonos pastovumas apie $z-z$ ašį, o tik vietinė juostos kluptis apie z_1-z_1 ašį.

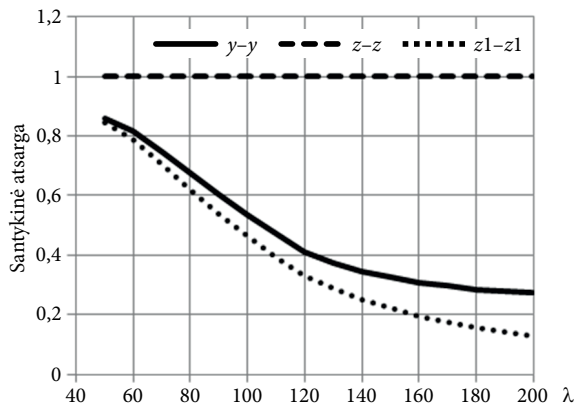


6 pav. Pastovumo atsarga EC3
Fig. 6. Stability according to EC3

Apskaičiavus centriškai gniuždomą koloną pagal STR metodiką laikomosios galios atsarga didesnė nei pagal EC3 metodiką (3 pav.). Pagal EC3 metodiką pastovumas nepakankamas (nepakankamas pastovumas apie $y-y$ ašį), todėl reikia didinti skerspjūvį. Ši prielaida galioja, kai kolonos liaunis $\lambda_y = \lambda_z$.



7 pav. Pastovumo atsarga apie $y-y$ ašį
Fig. 7. Stability round the $y-y$ axis



8 pav. Pastovumo atsarga STR
Fig. 8. Stability according to STR

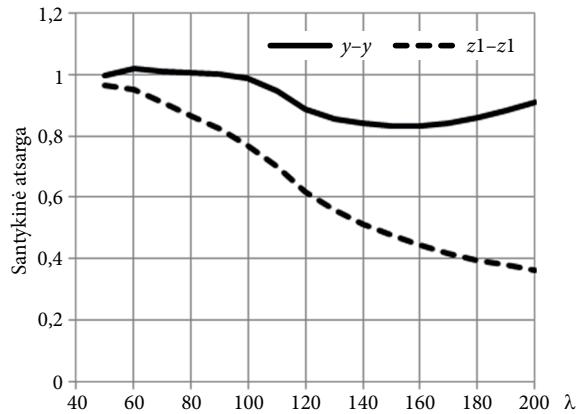
Toliau pateikiami 2 atvejo skaičiavimų rezultatai, kai $\lambda_y = \lambda_z/2$.

Apskaičiavus spragotosios kolonos vienos juostos pastovumą apie $y-y$ ašį, pastovumo atsarga pagal STR metodiką yra didesnė, lyginant su EC3 metodika (7 pav.). Galima teigti, kad pastovumas apie $y-y$ ašį skaičiuojant pagal STR metodiką yra su didesne atsarga.

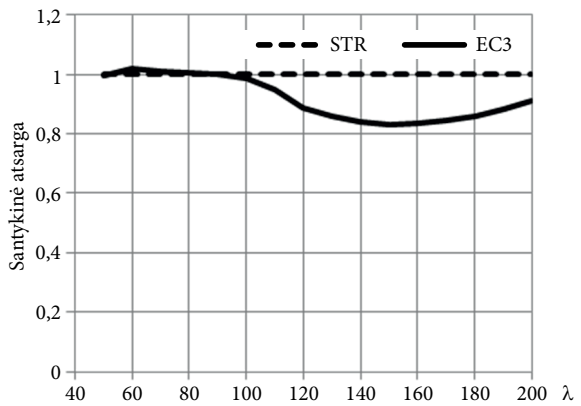
Kai $\lambda_y = \lambda_z/2$, tuomet pagal STR metodiką pavojingesnė yra pastovumo netektis apie $z-z$ ašį (8 pav.), nes šioje plokštumoje didesnis skaičiuojamasis ilgis.

Pagal EC3 metodiką pavojingesnis yra vienos juostos klumpumas apie $y-y$ ašį (9 pav.). O apie z_1-z_1 ašį yra klumpamosios galios atsarga pakankama, ypač esant dideliems liauniams.

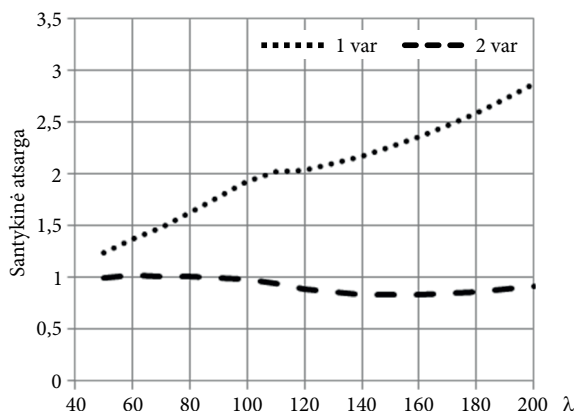
Apskaičiavus centriškai gniuždomą koloną tiek pagal STR metodiką, tiek pagal EC3 metodiką pastovumo atsarga beveik nesiskiria (10 pav.), kai kolonos liaunis neviršija $\lambda_z \leq 100$. Didėjant liauniui pastovumo atsarga yra didesnė pagal EC3 metodiką, o pagal STR metodiką kolonos laikomoji galia jau yra iki galo iš-



9 pav. Pastovumo atsarga EC3
Fig. 9. Stability according to EC3



10 pav. Centriškai gniuždomos kolonos pastovumo atsarga
Fig. 10. The stability of the axially loaded column



11 pav. Klumpamosios galios atsarga, variantų sugretinimas
 Fig. 11. Stability, a comparison of variants

naudota. Apžvelgus skaičiavimo rezultatus galima teigti, kad projektuojant pagal EC3 metodiką yra nesaugu, lyginant su STR, kai kolonos liaunis viršija $\lambda_z > 100$. Ši prielaida galioja, kai kolonos liaunis ($\lambda_y = \lambda_z/2$).

Kadangi analizės rezultatai yra priešaringi, tikslinga atlikti papildomus eksperimentinius ir skaitinius tyrimus.

Kaip matyti iš (11 pav.), pirmu variantu ($\lambda_y = \lambda_z$) skirtumas tarp metodikų didelis – iki 2,7 karto. O antruoju atveju ($\lambda_y = \lambda_z/2$) skirtumas iki 20 %. Taip yra todėl, kad pagal EC3 metodiką reikia perskaičiuoti vienos juostos ašinę jėgą ir įvertinti jos padidėjimą dėl lenkiamojo momento poveikio, kuris tuo didesnis, kuo didesnis strypo ilgis.

Apie tai, kad esant dideliame kolonos liauniui apie z-z ašį, EC3 metodika gautieji rezultatai gali būti nesaugūs, nuomonę išsako ir Kalochairetis (2011) atlikęs spragotųjų kolonų elgsenos analizę skaitiniais metodais ir palyginęs juos su analitiniais. Jo gautieji skaitinio modeliavimo rezultatai glaudžiai siejasi su gautaisiais pagal EC3.

5. Išvados

1. Straipsnyje atlikta centriškai gniuždomų spragotųjų kolonų laikomosios galios skaičiavimų rezultatų pagal STR ir EC3 metodikas analizė.
2. Pagal STR metodiką reikia tikrinti viso strypo bendrąjį klumpumą apie z-z ašį, o pagal EC3 to nereikia daryti, tikrinama tik vienos juostos kluptis.
3. Pagal EC3 vienos iš juostų ašinę jėgą padidinama, atsižvelgiant į lenkiamąjį momentą dėl kolonos netiesiškumo.
4. Kai kolonos liaunis $\lambda_y = \lambda_z$ abiejose plokštumose yra vienodas, skaičiuojamoji centriškai gniuždomos

kolonos laikomoji galia pagal STR metodiką yra su didesne atsarga nei pagal EC3 metodiką. Pagal EC3 metodiką kolonos pastovumas yra nepakankamas.

5. Kai kolonos liaunis $\lambda_y = \lambda_z/2$ ir $\lambda_z \leq 100$, taikant tiek STR, tiek EC3 metodikas kolonos klumpumas beveik nesiskiria. Didėjant liauniui, pastovumo atsarga yra didesnė pagal EC3 metodiką, o pagal STR metodiką kolonos klumpamoji galia jau yra iki galo išnaudota. Palyginus skaičiavimo rezultatus, gautus taikant EC3 ir STR metodikas, galima teigti, kad kai kolonos liaunis viršija $\lambda_z > 100$, projektuojant pagal EC3 metodiką, gaunami rezultatai yra mažiau atsargūs nei pagal STR metodiką.
6. Gautieji plieninių spragotųjų kolonų skaičiavimo rezultatai patvirtina kitų autorių (Kalochairetis, Gantes 2011) teiginius apie tai, kad esant dideliems kolonos liauniams EC3 metodika gali būti nesaugi.
7. Tikslinga, kai kolonos liauniai $\lambda_z > 100$, taikant EC3 skaičiavimo metodiką, tikrinti ir bendrąjį kolonos klumpumą apie y-y ašį, tačiau Eurokode nepateikta jokių nuorodų, kaip tai daryti.
8. Analizės rezultatai yra priešaringi, todėl reikia atlikti papildomus eksperimentinius tyrimus.

Literatūra

Becque, J.; Rasmussen, K. J. R. 2009. Experimental investigation of local-overall interaction buckling of stainless steel lipped channel columns, *Journal of Constructional Steel Research* 65(8–9): 1677–1684. doi:10.1016/j.jcsr.2009.04.025

Daniūnas, A.; Kvedaras, A. K.; Šapalas, A.; Šaučiūvenas, G. 2006. Design basis of Lithuanian steel and aluminum structure codes and their relations to Eurocode, *Journal of Constructional Steel Research* 62 (iss. 12): 1250–1256.

Eurocode 3. Design of Steel Structures. Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings. 2006. 91 p.

Guo, Y.; Wang, J. 2009. Instability behavior and application of prismatic multi-tube latticed steel column, *Journal of Constructional Steel Research* 65: 12–22. doi:10.1016/j.jcsr.2008.03.011

Hashemi, B. H.; Jafari, M. A. 2009. Experimental evaluation of elastic critical load in batten columns, *Journal of Constructional Steel Research* 65: 125–131. doi:10.1016/j.jcsr.2008.02.016

Kalochairetis, K. E.; Gantes, C. J. 2011. Numerical and analytical investigation of collapse loads of laced built-up columns, *Computers and Structures* 89: 1166–1176. doi:10.1016/j.compstruc.2010.10.018

Razdolsky, A. G. 2005. Euler critical force calculation for laced columns, *J. Engng. Mech. (ASCE)* 131(10): 997–1003. doi:10.1061/(ASCE)0733-9399(2005)131:10(997)

Razdolsky, A. G. 2011. Calculation of slenderness ratio for laced columns with serpentine and crosswise lattices, *Journal of Constructional Steel Research* 67: 25–29. doi:10.1016/j.jcsr.2010.07.011

- Reyes, W.; Guzmán, A. 2011. Evaluation of the slenderness ratio in built-up cold-formed box sections, *Journal of Constructional Steel Research* 67(2011): 929–935. doi:10.1016/j.jcsr.2011.02.003
- Sahoo, D.; Rai, D. C. 2004. Battered built-up beam-columns under cyclic loads, in *The 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B. C., Canada. August 1–6, 2004. Paper No. 67.
- STR 2.05.08:2005 *Plieninių konstrukcijų projektavimas. Pagrindinės nuostatos* [Design of steel structures. General rules]. Vilnius, 2005.
- Whittle, J.; Ramseyer, C. 2009. Buckling capacities of axially loaded, cold-formed, built-up C-channels, *Thin-Walled Structures* 47: 190–201. doi:10.1016/j.tws.2008.05.014

THE STABILITY OF BUILT-UP AXIAL LOADED COLUMN IN LIGHT OF STR AND EC3

V. Šapalas, G. Šaučiuvėnas

Abstract. The paper presents the analysis of built-up laced axially loaded steel columns in light of Eurocode 3 and Lithuanian design code STR 2.05.08:2005. The theoretical part analyzes two design methods. Some cases indicate principal differences. According to STR, axial forces are equally divided into two parts for both chords. However, in Eurocode 3, axial force (formula 8) for one chord increases due to the additional bending moment (Formula 6) that depends on the shear stiffness of lacings (Formula 5). For very slender columns, the axial force of one chord, considering Eurocode 3, is 2.7 times bigger than that taking into account the STR method. Another big difference between the methods is that according to Eurocode 3 it is not necessary to check the overall stability of the built-up member round the z - z axis (only checking the stability of one chord round the z_1 - z_1 axis is obligatory). Both methods require checking the stability of one chord round the y - y axis.

In two cases, calculations referred to the same initial data (Table 1, 2) applying different design codes. The obtained results are presented in the diagrams. The first case shows that column slenderness in both planes equals $\lambda_y = \lambda_z$. The axially loaded column calculated with reference to the STR method has bigger bearing capacity reserve than that calculated considering the Eurocode 3 method. In this case, the stability of one chord round the y - y axis (Fig. 3) is the most dangerous. This example illustrates that the stability condition of the axially loaded column according to Eurocode 3 is not satisfied; thus, a necessity of increasing the column cross-section arises. The main reason for the latter situation is a different method used for calculating the axial force of one chord. This difference is greater for more slender columns.

In the second case – column slenderness makes $\lambda_y = \lambda_z/2$. When slenderness is $\lambda_z \leq 100$, the axially loaded column calculated according to the STR method has similar results compared to the Eurocode 3 method (Fig. 10). The most dangerous according to STR is the stability of the entire column round the z - z axis (Fig. 8), whereas in accordance with Eurocode 3 it appears to be the stability of one chord round the y - y axis (Fig. 9). In such a case, the stability condition of the axially loaded column according to Eurocode 3 has more reserve only when slenderness is $\lambda_z > 100$ (Fig. 10). Therefore, calculation according to Eurocode 3 is less safe if compared to the STR method. The main reason is that Eurocode 3 does not require checking the entire column stability round the z - z axis. Hence, for calculating slender columns according to Eurocode 3, some cases ($\lambda_z > 100$) are not very safe, which was also noticed in the numerical investigations provided by other authors Kalochairetis (2011).

In some cases, results are controversial, and therefore it is necessary to perform additional analysis or experimental investigation.

Keywords: built-up columns, stability of axially loaded column, stability of one chord, method, comparison, STR, Eurocode 3.

Vaidotas ŠAPALAS. Dr Assoc. Prof. at the Department of Steel and Timber Structures, Vilnius Gediminas Technical University. Fields of research: computer modeling of steel structures, stability of tapered members, local stability of steel members.

Gintas ŠAUČIUVĖNAS. Dr Assoc. Prof. at the Department of Steel and Timber Structures, Vilnius Gediminas Technical University. Fields of research: evaluation of the existing steel and timber structures, evaluation of fire resistance of steel and timber structure.