

STRAIN-STRESS EXPERIMENTAL BEHAVIOUR OF TAPERED COLUMNS IN SINGLE-SPAN FRAMES

V. Šapalas MSc

To cite this article: V. Šapalas MSc (2000) STRAIN-STRESS EXPERIMENTAL BEHAVIOUR OF TAPERED COLUMNS IN SINGLE-SPAN FRAMES, *Statyba*, 6:2, 82-86, DOI: [10.1080/13921525.2000.10531570](https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531570)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531570>



Published online: 26 Jul 2012.



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



Article views: 59



Citing articles: 4 [View citing articles](#) [↗](#)

TRAPECINIŲ KOLONŲ VIENANAVIUOSE RĖMUOSE DEFORMACIJŲ-ĮTEMPIŲ BŪVIS

V. Šapalas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Šiame straipsnyje nagrinėjamas trapecinių kolonų vienanaviuose rėmuose būvis. Tokio tipo konstrukcijų praktinio jų panaudojimo klausimai literatūroje neaprašyti. Pas mus galiojančiose normose [1], taip pat ir Euro-normose 3 [2] nėra nurodyta, kaip skaičiuoti kintamojo skerspjūvio kolonas. Norint sukurti patikimą ir efektyvią tokio tipo statybinių konstrukcijų skaičiavimo ir projektavimo metodiką, yra tikslinga atlikti tokių konstrukcijų eksperimentinius bandymus ir gautus rezultatus palyginti su teorinės analizės rezultatais. Tirtas trapecinių kolonų sukamasis pastovumas veikiant ašinei gniuždomajai jėgai ir lenkiamajam momentui. Trapecinių kolonų sienelė yra plonasiene, todėl aktuali yra ir jos vietinio pastovumo problema. Eksperimentiniais bandymais galima nustatyti, ar, pasireiškus sienelės vietiniam klupumui, kolona dar gali būti veikiamą apkrovos. Šiame straipsnyje pateikti vienanavių rėmų su trapecinėmis kolonomis eksperimentinių bandymų rezultatai (lentelės ir diagramos). Pagal nustatytas deformacijas buvo apskaičiuoti įtempiai. Taip pat straipsnyje rėmo teoriniai skaičiavimai pagal [1] ir [2] metodikas lyginami su eksperimentinių tyrimų rezultatais. Šiose metodikose nėra paaiškinimų, kaip skaičiuoti kintamojo skerspjūvio elementus ir nustatyti jų liaunį, todėl skaičiuojant iškyla tam tikrų problemų.

2. Rėmo su kintamojo skerspjūvio kolonomis skaičiavimo metodų analizė

Yra žinomi ir plačiausiai taikomi du kolonų skaičiavimo metodai [1] ir [2]. Pagal [1] metodiką kolona skaičiuojama iš rėmo plokštumos. Kolonos pastovumo sąlyga:

$$\frac{N}{c \cdot \varphi_z \cdot A} \leq R_y. \quad (1)$$

Kolonos pastovumo netekimas iš rėmo plokštumos įvertinamas klupumo koeficientu φ_z ir koeficientu c ,

kuris priklauso nuo santykinio ekscentriciteto ir skerspjūvio formos. Skaičiuojant pagal šią metodiką neįvertinamas sukamojo-lenkiamojo pastovumo netekimas.

Skaičiuojant pagal [2] metodiką laikoma, kad ne visas skerspjūvis efektyviai dirba (dalis sienelės ir juostos nedirba), todėl reikia apskaičiuoti naudingo skerspjūvio plotą. Tuomet nustatomas skerspjūvio ploto redukavimo koeficientas β_A . Skaičiuojant kolonos sąlyginį liaunį įvertinamas naudingo skerspjūvio darbas:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{\beta_A \cdot A \cdot R_y}{N_{cr}}}. \quad (2)$$

Pagal sąlyginį liaunį nustatomas klupumo koeficientas iš rėmo plokštumos χ_z . Taip pat skaičiuojamas skerspjūvio sąlyginis liaunis, įvertinantis sukamąjį-lenkiamąjį pastovumą (priklauso nuo kritinio momento):

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_W \cdot W_y \cdot R_y}{C_1 \cdot M_{cr}}}. \quad (3)$$

Pagal sąlyginį liaunį λ_{LT} nustatomas klupumo koeficientas χ_{LT} . Pagal šią metodiką skaičiuojamas kolonos sukamasis-lenkiamasis pastovumas pagal formulę:

$$\frac{N}{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot R_y} + \frac{k_{LT} \cdot M}{\chi_{LT} \cdot W_{eff} \cdot R_y} \leq 1. \quad (4)$$

Šioje formulėje pirmuoju nariu įvertinamas kolonos pastovumas iš rėmo plokštumos, o antruoju – kolonos sukamojo-lenkiamojo pastovumo formos netekimas.

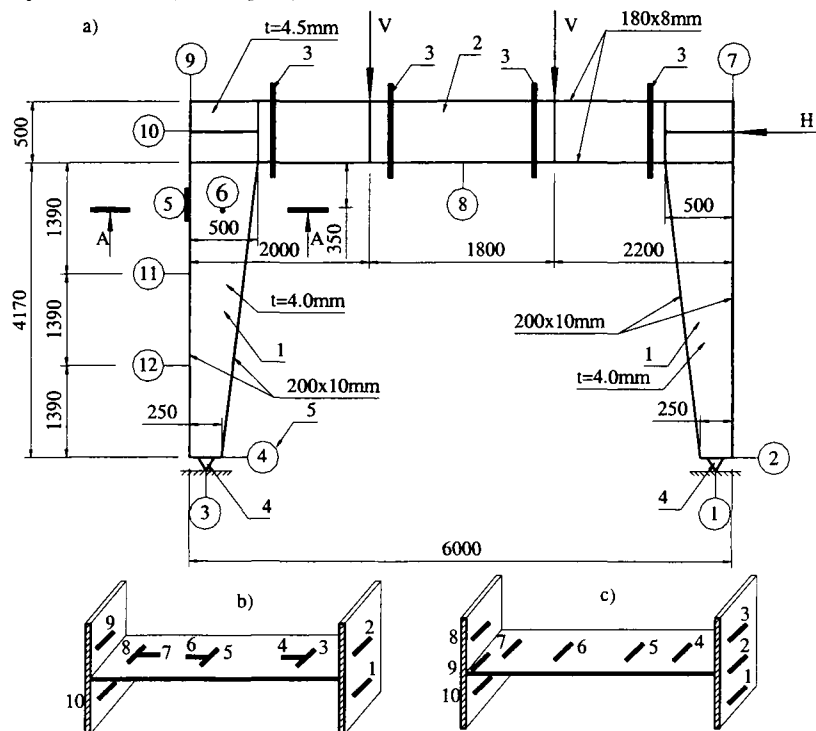
Atlikta metodikų analizė rodo, kad kai kurie veiksniai yra vertinami skirtingai ir todėl jų įtaką būtina patikrinti eksperimentais.

3. Bandymų rezultatai

Buvo atlikti du vienanavių rėmų su trapecinėmis kolonomis bandymai. Rėmo plotis – 6 m, rėmo kolonos aukštis – 4,17 m (žr. 1 a pav.). Rėmas buvo bandomas

horizontalioje padėtyje ant jėgos grindų. Siekiant užtikrinti rėmo pastovumą iš plokštumos plieninėmis apkabomis jis buvo pritvirtintas prie grindų. Kolonų atramos yra lankstinės. Jos sukonstruotos taip, kad kolona galėtų tik pasisukti rėmo plokštumoje, bet negalėtų pasislinkti. Kolonos ir rygelio jungtis yra standi (sujungta aštuoniais stipriaisiais varžtais). Rėmas paguldytas ant vamzdžių, todėl gali laisvai judėti jėgos veikimo kryptimi. Rygelis apkrautas dviem vertikaliomis ir viena horizontaliaja jėgomis. Vertikaliajai jėgai suteikti buvo naudojamas vienas hidraulinis domkratas (maksimali domkrato apkrova 100 t) ir pagalbinė sija, kuri šią jėgą padalydavo į dvi lygias dalis. Pagalbinė sija atremta į rėmą per lankstinius „peilius“. Hidraulinis domkratas, naudojamas vertikaliajai jėgai suteikti, buvo atremtas į atramą per slankiojantį vežimėlį, todėl galėjo laisvai judėti kartu su rėmu horizontalia kryptimi. Horizontalioji jėga buvo suteikiama taip pat hidrauliniu domkratu (maksimali domkrato apkrova 100 t), tik atremtu į nejudamą atramą. Abu hidrauliniai domkratai atremti į siją ir rygelį per lankstinius „peilius“. Pagal preliminarius skaičiavimus vertikaliosios ir horizontaliosios jėgos santykis parinktas taip, kad pirmiau sukauptų kolona, o rygelis liktų sveikas. Todėl vertikalųjų ir horizontaliųjų jėgų santykis $2V:H=2$ (žr. 1 a pav.).

Pirmiausia rygelis buvo apkraunamas vertikaliaja apkrova (kad rėmas prisispautų prie atramų), vėliau jam buvo suteikiama horizontalioji apkrova. Apkrova išlaikoma 10 min, vėliau fiksuojami prietaisų parodymai: tenzodavikliai (išdėstyti kolonos pjūvyje A-A, žr. 1 b ir 1 c pav.), įlinkiamačiai (tikslumas 0,1 mm) ir indikatoriai (tikslumas 0,01 mm). Po kiekvienos apkrovimo pakopos rėmas apžiūrimas ir fiksuojami atsiradę defektai. 1 lentelėje pateikti rėmo 6 ir 8 taškų poslinkiai (žr. 1 a pav.) ir 1 bei 9 tenzodaviklių parodymai (žr. 1 b ir 1 c pav.). Kai kurie bandymo rezultatai pateikti 1 lentelėje. Visi rėmo poslinkiai buvo išmatuoti ir apskaičiuoti atsižvelgiant į atramų poslinkius. Didėjant apkrovai kolona pradėjo linkti į grindis ir tuo pat metu sukis. Pirmojo rėmo R1-1 bandymo metu kolona suklypo esant apkrovai $2V=400$ kN ir $H=200$ kN. Taigi ji suiro netekusi sukamojo-lenkiamojo pastovumo. Jau esant apkrovai $2V=300$ kN ir $H=150$ kN kolonos ir sijos sienutė prie kolonos ir sijos jungties mazgo neteko vietinio pastovumo. Tačiau rėmas ir toliau laikė apkrovą. Antrojo rėmo R1-2 bandymo metu kolona suklypo, apkrovai esant $2V=390$ kN ir $H=175$ kN, kolonos sienutė taip pat neteko vietinio pastovumo. Abiem atvejais kolona neteko lenkiamojo-sukamojo pastovumo.



1 pav. Rėmo bandymo schema (a) ir daviklių išdėstymas pjūvyje A-A rėmo bandymuose R1-1 (b) ir R1-2 (c): 1 – rėmo kolona, 2 – rėmo rygelis, 3 – apkabos, 4 – lankstinės atramos, 5 – įlinkiamačiai

Fig 1. Frame test scheme (a) and strain-gauges scheme in cross-section A-A in tests R1-1 (b) and R1-2 (c). 1 – frame column, 2 – frame beam, 3 – braces, 4 – pin supports, 5 – deflection indicators

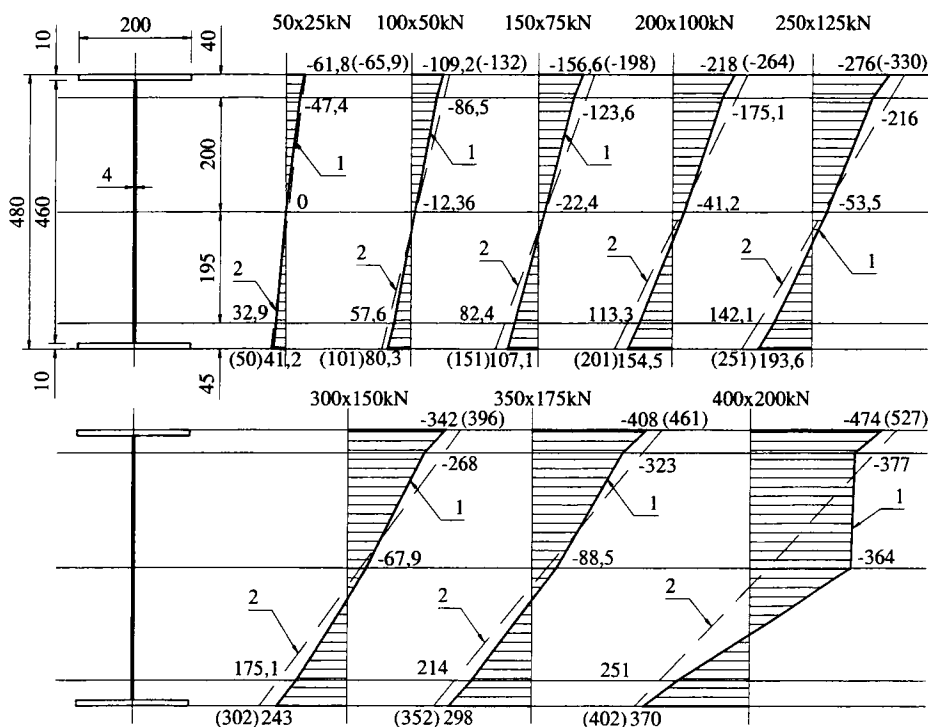
Norint patikrinti eksperimentinių tyrimų patikimumą, teoriniai rėmo poslinkiai ir įtempiai buvo apskaičiuoti naudojant STAADIII programą ir palyginti su eksperimentiniais. Pirmojo bandymo metu gautas vertikalūs poslinkis (6-ame taške, žr. 1 a pav. ir 1 lentelę) yra 17,5% mažesnis negu apskaičiuotas teoriškai. Horizontalūs eksperimentinis poslinkis (8-ame taške, žr. 1 a pav. ir 1 lentelę) yra 29,6% mažesnis negu teorinis. Pirmojo bandymo metu gautas gniuždomasis įtempis kolonos pjūvyje A-A (žr. 2 pav. ir 1 lentelę) yra vidutiniškai 11,2% mažesnis negu apskaičiuotas teoriškai. Tempiamasis įtempis kolonos pjūvyje A-A

dymo metu vertikalūs poslinkis (6-ame taške, žr. 1 a pav. ir 1 lentelę) yra 21,1% didesnis negu apskaičiuotas teoriškai. Horizontalūs eksperimentinis poslinkis (8-ame taške, žr. 1 a pav. ir 1 lentelę) yra 29,6% mažesnis negu teorinis. Pirmojo bandymo metu gautas gniuždomasis įtempis kolonos pjūvyje A-A (žr. 2 pav. ir 1 lentelę) yra vidutiniškai 11,2% mažesnis negu apskaičiuotas teoriškai. Tempiamasis įtempis kolonos pjūvyje A-A

1 lentelė. Bandymo rezultatai. Poslinkiai ir įtempiai

Table 1. Test results. Deflections and strains

Apkrova 2V×H (kN)	Skerspjūvio A-A (žr. 1 b ir 1 c pav.) įtempiai (MPa)						Taškų 6 ir 8 (žr. 1 a pav.) poslinkiai (mm)					
	bandymas R1-1		bandymas R1-2		STAAD III		bandymas R1-1		bandymas R1-2		STAAD III	
	1	9	2	10	1(2)	9(10)	6	8	6	8	6	8
50×25	-61,8	41,2	-57,6	43,2	-66	50,3	2,4	10,1	2,33	10,8	1,95	12,8
100×50	-109,2	80,3	-113,3	86,5	-132	101	4,42	22	4,04	20,8	3,91	25,5
150×75	-156,6	107,1	-173	123,6	-198	151	6,36	29,8	6,62	29,3	5,86	38,3
200×100	-218	154,5	-239	170,9	-264	201	8,33	40,9	8,70	37,9	7,82	51,0
250×125	-276	193,6	-296	210	-330	251	10,18	50,2	11,06	46,8	9,77	63,8
300×150	-342	243	-387	278	-396	302	11,32	64,4	13,09	58,1	11,7	76,5
350×175	-408	298	-463	346	-461	352	11,35	77,6	16,60	68,9	13,7	89,3
400×200	-474	370	-	-	-527	402	13,275	91,4	-	-	15,6	102



2 pav. Rėmo R1-1 eksperimentinių (1) ir teorinių (STAAD III programa) (2) įtempių priklausomybė nuo jėgos

Fig 2. Frame R1-1 experimental (1) and theoretical (program STAAD III) (2) strain dependency on load

(žr. 2 pav. ir 1 lentelę) yra vidutiniškai 8,65% mažesnis negu apskaičiuotas teoriškai. Antrojo bandymo metu gautas gniuždomasis įtempis kolonos pjūvyje A-A (žr. 2 pav. ir 1 lentelę) yra vidutiniškai 0,43% didesnis negu apskaičiuotas teoriškai. Tempiamasis įtempis kolonos pjūvyje A-A (žr. 2 pav. ir 1 lentelę) yra vidutiniškai 1,73% mažesnis negu apskaičiuotas teoriškai. Kaip matyti iš 2 pav., eksperimentinės ir teorinės įtempių kreivės kolonos pjūvyje A-A yra artimos ir skirtumas tarp jų nėra didelis (vidutiniškai apie 5,55%). Iš 2 pav. pateiktos paskutinės apkrovimo pakopos aiškiai matyti, kad kolonos sienutė suklupo (diagramoje matyti didelis šuolis kolonos neutraliosios ašies lygyje). Taip pat iš įtempių matyti, kad kolonos skerspjūvio neutralioji ašis yra pasislinkusi į tempiamo krašto pusę. Medžiagų charakteristikos buvo nustatytos kolonos metalo bandymo tempimu (GOST 1497–84). Vidutinis plieno takis apskaičiuotas pagal metalo bandymo tempimu duomenis (išbandyta 13 bandinių iš kolonos sienutės ir 6 bandiniai iš kolonos juostos):

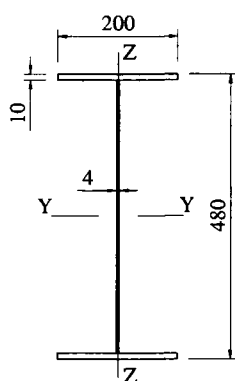
$$\bar{\sigma}_y = 444 \text{ MPa}.$$

Vidutinis plieno stipris:

$$\bar{\sigma}_u = 535 \text{ MPa}.$$

Norminis plieno takis:

$$R_{yn} = 350 \text{ MPa}.$$



3 pav. Kolonos skerspjūvis A-A

Fig 3. Column's cross-section A-A

4. Eksperimentinių ir teorinių rezultatų palyginimas

Rėmas buvo skaičiuotas pagal [1] ir [2] metodikas. Kadangi jose nėra nurodyta, kaip skaičiuoti trapecinius elementus, tai skaičiavimai atliekami daugelyje pjūvių

per visą kolonos aukštį ir išrenkamas pavojingiausias. Kadangi kinta kolonos skerspjūvio aukštis, tai kolonos geometrinės charakteristikos (skerspjūvio plotas, inercijos momentas, atsparumo momentas, inercijos spindulys) nustatomos konkrečiam kolonos pjūviui. Pavojingiausias pjūvis pagal abi metodikas buvo nustatytas kolonos viršuje prie sijos ir kolonos sandūros. Tai patvirtino eksperimentas, nes jo metu kolona neteko sukamojo-lenkiamojo pastovumo ir kolonos viršuje sienelė ir juosta neteko vietinio pastovumo.

Kolona buvo skaičiuota pagal [1] ir [2] metodikas naudojant įrašas, nustatytas programa STAAD III, kai rėmą veikia jėgos $2V \times H = 400 \times 200$ kN (pirmasis rėmo bandymas R1-1) ir $2V \times H = 390 \times 175$ kN (antrasis rėmo bandymas R1-2). Tai yra ribinės rėmo eksperimentinės apkrovos. Teorinių ir eksperimentinių rezultatų palyginimas pateiktas 2 lentelėje.

2 lentelė. Teorinių ir eksperimentinių rezultatų lyginimas

Table 2. Comparison of theoretical and experimental results

Bandymo Nr.	Laikomumo atsarga, %	
	[1] metodika	[2] metodika
R1-1	60,8	111
R1-2	53,8	103

Pagal [1] metodiką skaičiuojant laikomumo atsarga yra 57,3%, o skaičiuojant pagal [2] metodiką 107%, todėl galima patobulinti skaičiavimo metodikas. Laikomumo skirtumą tarp šių metodikų galima paaiškinti tuo, kad skaičiuojant pagal [2] metodiką skerspjūvio plotas sumažinamas atsižvelgiant į kolonos skerspjūvio efektyvų darbą. Taip pat skaičiuojant pagal [2] metodiką įvertinamas sukamojo-lenkiamojo pastovumo netekimas.

5. Išvados

1. Išmatuoti eksperimentiniai poslinkiai yra 19,9% mažesni negu teoriniai. Eksperimentiniai įtempimai pjūvyje A-A yra vidutiniškai apie 5,55% didesni už teorinius.

2. Pavojingiausias kolonos skerspjūvis pagal teorinius skaičiavimus buvo nustatytas kolonos viršuje prie kolonos ir rygelio sandūros. Tai patvirtino eksperimentas, kurio metu kolona viršuje neteko sukamojo-lenkiamojo pastovumo, be to, jos viršuje klupo sienutė.

3. Eksperimentinis laikomumas yra 57,3% ir 107% didesnis negu teorinis atitinkamai pagal [1] ir [2] metodikas. Pagal [1] metodiką laikomumo atsarga mažesnė, tačiau ši metodika neįvertina kai kurių svarbių veiksnių.

Literatūra

1. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. М.: ЦТИП Госстроя СССР, 1990. 96 с.
2. ENV 1993-1-1. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1.1: General rules and rules for buildings. 1992.

Įteikta 1999 11 25

STRAIN-STRESS EXPERIMENTAL BEHAVIOUR OF TAPERED COLUMNS IN SINGLE-SPAN FRAMES

V. Šapalas

S u m m a r y

Two single-span frame tests were carried out. The width of frame is 6m, column's height 4.17m. Frame supports are pinned. Connection between column and beam is rigid. Beam of the frame was loaded with two vertical and one horizontal loads. The stability of tapered columns was analysed in frame plane and in perpendicular plane, according to [1] and [2] methods.

All deflections were calculated taking into account support movements. During the first frame test R1-1 the tapered column collapsed at the load $2V=400$ kN and $H=200$ kN

(vertical and horizontal loads). During the second test R1-2 the tapered column collapsed at the load $2V=390$ kN and $H=175$ kN. In both tests columns collapsed in lateral-torsional buckling way. Because the column's web is very thin at the load $2V=300$ kN and $H=150$ kN the column's web achieved local buckling. But the column was still carrying the load. During both tests at the load $2V=300$ kN and $H=150$ kN the column began to twist in the middle of its height about the longitudinal axis and to bend about the weak axis.

In test R1-1, the vertical experimental deflection (in point 6, see Fig 1 a) is about 17.5% smaller than the theoretical one. The horizontal experimental deflection (in point, see Fig 1 a) is about 11.6% smaller than the theoretical one. In test R1-2, vertical experimental deflection (in point 6, see Fig 1 a) is about 21.1% bigger than the theoretical one. The horizontal experimental deflection (in point, see Fig 1 a) is about 29.6% smaller than the theoretical one.

In test R1-1, an experimental compression stresses in section A-A (see Fig 2) are about 11.2% smaller than the theoretical one. Experimental tension stresses in section A-A are about 8.65% smaller than the theoretical one. In test R1-2, an experimental compression stresses in section A-A is about 0.43% bigger than the theoretical one. An experimental tension strain in section A-A is about 1.73% smaller than the theoretical one.

Vaidotas ŠAPALAS. MSc, PhD student. Dept of Steel and Timber Structures. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania.
PhD student (1996). MSc (building construction).