

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO VERSLO IR TECHNOLOGIJŲ FAKULTETAS**

Andrius Tubis
**METALINIŲ KOLONŲ PASTOVUMO KLUPDYMUI
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Doc. Dainius Vaičiulis

PANEVĖŽYS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO VERSLO IR TECHNOLOGIJŲ FAKULTETAS
TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas
(parašas) Artūras Tautkus
(data)

METALINIŲ KOLONŲ PASTOVUMO KLUPDYMUI
TYRIMAS

magistro projektas
Statyba (621J80001)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Dainius Vaičiulis
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Saulius Sušinskas
(data)

Projektą atliko

(parašas) Andrius Tubis
(data)

A. Tubis, Metalinių kolonų pastovumo kludymui tyrimas, Magistro baigiamasis darbas / Vadovas doc. Dainius Vaičiulis, Kauno Technologijos Universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas, technologijų katedra, - Panevėžys: 2016, 61 p.

SANTRAUKA

Baigiamajame magistro darbe tiriamas metalinių kolonų atsparumas kludymui. Kolonos suklypimas gali sukelti dideles avarijas. Todėl projektuojant kolonas būtina įsitikinti, kad gniuždymo jėga neviršys kritinės jėgos, kuriai veikiant kolona tampa nestabili, t. y. praranda pirminę pusiausvyros būseną.

Šiame darbe tirta kaip kritinės jėgos vertė priklauso nuo kolonos profilio formos, geometrijos ir ilgio. Naudojant kompiuterinio skaičiavimo programa „SolidWorks Simulation“ apskaičiuota kolonas kludanti kritinė jėga. Tyrime naudojami trys kolonų profiliai: tuščiaviduris skritulys, tuščiaviduris kvadratas ir dvitėjinis. Kai pasirenkamas kolonos įtvirtinimo būdas, skerspjūvio plotas A , profilio sienelės storis s , gabaritiniai matmenys b arba d ir skerspjūvio ploto inercijos momentas I . Jeigu kolonų profilių skerspjūvio plotas vienodas, tai ir medžiagos kolonos gamybai sunaudojama vienodai. Todėl gamybos kaštai kiekvienu atveju bus vienodi.

Pagal gautus rezultatus galime teigti, kad pirmu įtvirtinimo būdu, kai kolonos apačia įtvirtinta standžiai (gembiskai), o viršus laisvas ir antru, kai kolonos apačia įtvirtinta standžiai (gembiskai), o viršus gali pasisukti (šarnyriškai) gauname abiemis įtvirtinimo būdams tinkančius rezultatus.

Parenkant kolonų skerspjūvio formas pagal geometrinius parametrus tai yra pagal profilio skerspjūvio plotą, profilio sienelės storį ir profilio gabaritinius matmenis, galima teikti, kad didžiausią atsparumą kritinei jėgai turi kolona su tuščiavidurio kvadrato profiliu, o mažiausią dvitėjinės formos kolonos profilis. Tačiau parenkant kolonų skerspjūvio formą pagal skerspjūvio ploto inercijos momentą, profilio sienelių storį ir gabaritinius matmenis, tai didžiausią atsparumą kritinei jėgai turi tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausiu atsparumu pasižymi tuščiavidurio kvadrato formos kolonos profilis. Didėjant kolonos ilgiui, kolonų atsparumas kritinei jėgai mažėja.

SUMMARY

The master thesis investigated the metal columns buckling resistance. Columns stumble may cause serious accidents. Therefore, the design of columns it is necessary to make sure that the compressive force does not exceed the critical power, which is operation of the column becomes unstable, it is losing the primary equilibrium condition.

In this work investigated as a critical force value depends on the column airfoil shape, geometry and length. Using a computer program for calculating SolidWorks Simulation calculated columns critical buckling force. In the investigation used three columns profiles hollow circle, hollow square and double-T. When the selected columns fixation method, cross-sectional area A , the profile of the wall thickness s , overall dimensions b or d and cross-sectional area moment of inertia. If the column cross section area equal, so the columns and materials consumption for producing the same. So that the production costs will be the same in each case.

According to the received results showed that the first fixation means, the column bottom is tight and the top free and the second column fixation is tight and the top is rotatable (articulated manner) receive both methods are suitable for fixation methods.

Selecting the column cross-section forms according the geometrical parameters that is on the profile cross section, the profile wall thickness and profile of the overall size, it can be said the highest strength to a critical force has a column with a square hollow profile, with the lowest column-shaped double-T profile. However, the selection column cross-sectional shape according to cross-sectional area moment of inertia of the profile of the wall thickness and overall size, is the highest strength critical force has a hollow circle shape, and the lowest strength has a square hollow profile columns. Increasing the length of the column, columns critical strength force decreases.

TURINYS

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS.....	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	9
ĮVADAS.....	10
1. METALINIŲ KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ.....	11
1.1 Metalinių konstrukcijų istorinė apžvalga.....	11
1.2 Metalinių konstrukcijų naudojimo sritys, jų pranašumai ir trūkumai.....	12
1.3 Metalinės kolonos ir jų tipai.....	13
1.4 Gniuždomų strypų pusiausvyros stabilumas.....	14
1.5 Centriškai gniuždomos kolonos.....	14
2. KOLONŲ ATSPARUMO KLUPDYMUI TYRIMAS.....	19
2.1 Tyrimų tikslas.....	19
2.2 Tyrimų eiga ir rezultatai.....	19
3. KOLONŲ ATSPARUMO KLUPDYMUI TYRIMAS PIRMU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU NAUDOJANT SKIRTINGUS GEOMETRINIUS PARAMETRUS.....	23
3.1 Dviejų metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	23
3.2 Keturių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	25
3.3 Šešių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	27
3.4 Aštuonių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	29
4. KOLONŲ ATSPARUMO KLUPDYMUI TYRIMAS PIRMU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU, NAUDOJANT SKIRTINGUS GEOMETRINIUS PARAMETRUS, KAI KOLONŲ SKERPJŪVIO PLOTO INERCIJOS MOMENTAS VIENODAS VISIEMS NAUDOJAMIEMS KOLONŲ PROFILIAMS.....	32
4.1 Dviejų metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	32
4.2 Keturių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	33
4.3 Šešių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	35
4.3 Aštuonių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	36
5. KOLONŲ ATSPARUMO KLUPDYMUI TYRIMAS ANTRU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU NAUDOJANT SKIRTINGUS GEOMETRINIUS PARAMETRUS.....	38
5.1 Dviejų metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	38

5.2 Keturių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	40
5.3 Šešių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui	42
5.4 Aštuonių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas	44
6. KOLONŲ ATSPARUMO KLUPDYMUI TYRIMAS ANTRU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU, NAUDOJANT SKIRTINGUS GEOMETRINIUS PARAMETRUS, KAI KOLONŲ SKERPJŪVIO PLOTO INERCIJOS MOMENTAS VIENODAS VISIEMS NAUDOJAMIEMS KOLONŲ PROFILIAMS	46
6.1 Dviejų metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas.....	46
6.2 Keturių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui.....	47
6.3 Šešių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas	49
6.4 Aštuonių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas	50
7. KOLONŲ KRITINĖS JĖGOS PRIKLAUSOMYBĖ NUO SKIRTINGŲ KOLONŲ ILGIŲ, PIRMU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU	52
7.1 Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, naudojant skirtingus geometrinius parametrus	52
7.2 Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, naudojant skirtingus geometrinius parametrus, kai vienodas kolonų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas	53
8. KOLONŲ KRITINĖS JĖGOS PRIKLAUSOMYBĖ NUO SKIRTINGŲ KOLONŲ ILGIŲ, ANTRU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU	56
8.1 Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, naudojant skirtingus geometrinius parametrus	56
8.2 Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, naudojant skirtingus geometrinius parametrus, kai vienodas kolonų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas	57
IŠVADOS.....	59
LITERATŪRA	60

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

Pav. 1. Koulbrukdeilo tilto nuotrauka [16].....	11
Pav. 2. Koulbrukdeilo tilto eskizas [16]	11
Pav. 3. Kolonų skaičiuojamosios schemas [12]	13
Pav. 4. Gniuždomo ir tempiamo strypo ašinės jėgos priklausomybė nuo pailgėjimo [1]	14
Pav. 5. Gniuždomo strypo eksplotavimo ribų grafikas [12].....	18
Pav. 6.. Klupdomos kolonos skaičiuojamosios schemas	19
Pav. 7. Tyrime naudoti profiliai.....	19
Pav. 8. Kolonų, kurių skerspjūvio profiliai yra tuščiaaviduris skritulys (a),tuščiaaviduris kvadratas (b) ir dvitėjinis (c), pirmosios klupdymo formos	22
Pav .9. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm.....	23
Pav. 10. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm ²	24
Pav. 11. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm ²	25
Pav. 12. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm.....	26
Pav. 13. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm ²	26
Pav. 14. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm ²	27
Pav. 15. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm.....	28
Pav. 16. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm ²	28
Pav. 17. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm ²	29
Pav. 18. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm.....	30
Pav. 19. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm ²	30
Pav. 20. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm ²	31

Pav. 21. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	32
Pav. 22. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	33
Pav. 23. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	34
Pav. 24. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	34
Pav. 25. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	35
Pav. 34. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2	41
Pav. 37. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2	43
Pav. 41. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	46
Pav. 42. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	47
Pav. 43. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	48
Pav. 44. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	48
Pav. 45. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	49
Pav. 46. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	50
Pav. 47. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	51
Pav. 48. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	51
Pav. 49. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 ir gabaritinis b arba d matmuo 250 mm	52
Pav. 51. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$; ir gabaritinis b arba d matmuo 250 mm	54

Pav. 52. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ ir kolonos sienelės storis s 20 mm.	54
Pav. 53. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 ir gabaritinis b arba d matmuo 250 mm.....	56
Pav. 55. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ ir gabaritinis b arba d matmuo 250 mm.	58

LENTELIŲ SĄRAŠAS

Lentelė 1 Kolonų geometriniai parametrai, kai pasirenkamas skerspjūvio plotas A	20
Lentelė 2 Kolonų geometriniai parametrai, kai pasirenkamas sienelės storis s	20
Lentelė 3 Kolonų geometriniai parametrai, kai pasirenkamas gabaritinis matmuo b arba d	21
Lentelė 4 Kolonų geometriniai parametrai, kai pasirenkamas sienelės storis s , o inercijos momentas vienodas	21
Lentelė 5 Kolonų geometriniai parametrai, kai pasirenkamas gabaritinis matmuo b arba d , o inercijos momentas vienodas.....	21

IVADAS

Metalinės konstrukcijos plačiai naudojamos įvairios paskirties pastatams ir statiniams. Metalinių konstrukcijų naudojimo sričių įvairovę lemia geras konstrukcijų stiprumas, patikimumas, greita ir ekonomiška statyba, ilgaamžiškumas, patogus ir pigus eksplotavimas, bei estetiškumas. Visos metalinės konstrukcijos skirstomos į dvi grupes:

- a) strypines sistemas, sudarytas iš kolonų, sijų, santvarų;
- b) lakštines konstrukcijas.

Metalinių konstrukcijų darbas yra aiškus, pačios konstrukcijos patikimos. Kadangi metalas yra vienodos struktūros, tai galima visiškai išnaudoti metalo stiprumą [7].

Metalinės kolonos yra laikančios konstrukcijos, kurios perima apkrovas, poveikius ir perduoda pamatams, taip suteikia pastatams bei statiniams pastovumą ir stabilumą. Stabilumas - konstrukcijos ar jos elemento svaybė išlaikyti pradinę pusiausvyros formą, po bet kokių trikdymų visada išlaikyti pradinę pusiausvyros formą. Ši savybė yra ne mažiau svarbi, kaip stiprumas ir standumas [11].

Metalinės kolonos – dažniausiai gniuždomi konstrukciniai elementai. Neliaunų gniuždomų kolonų būseną yra tokia pati, kaip tempiamų. Gniuždomų kolonų atsparumui didelės įtakos turi kolonos ilgis ir kolonos skerspjuvio ploto inercijos momentas. Liaunų kolonų atsparumas gniuždant gali ženkliai skirtis nuo atsparumo tempiant. Kol gniuždomoji jėga yra mažesnė už kritinę, gniuždomų kolonų pradinė pusiausvyra išlieka stabili, o kai jėga viršija kritinę vertę, – keičiasi kolonos pusiausvyros sąlygos, nors įtempimas tuo metu būna gerokai mažesnis už ribinius. Apkrovos reikšmė, kurią viršijus konstrukcijos ar jos elemento pusiausvyra tampa nestabilia, vadinama kritine jėga. Taigi stiprumo sąlygos tenkinimas dar negarantuoja saugaus gniuždomų kolonų darbo. Liaunos gniuždomos kolonos deformuojasi netikėtai, be įspėjamųjų požymių, t. y. be didelių deformacijų, plyšių atsiradimo. Todėl ir pats deformavimas, lydymas suklypimo pavojaus, dažnai nagrinėjamas kaip klupdymas [2].

Kolonos suklypimas gali sukelti dideles avarijas. Todėl projektuojant kolonas būtina įsitikinti, kad gniuždymo jėga neviršys kritinės jėgos, kuriai veikiant kolona tampa nestabili, t. y. praranda pirminę pusiausvyros būseną [3].

Darbo tikslas: ištirti skirtingų skerspjuvio formų metalinių kolonų atsparumą klupdymui.

Darbo uždaviniai :

1. Apžvelgti kolonų klupdymo tyrimus, pristatytus šiuolaikinėje literatūroje
2. Ištirti, kaip kolonų kritinė klupdymo jėga priklauso nuo plačiausiai naudojamų kolonų profilio formų
3. Palyginti, kaip kolonų kritinė jėga priklauso nuo skirtingos profilio formos, geometrijos ir ilgio.

1. METALINIŲ KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ

1.1 Metalinių konstrukcijų istorinė apžvalga

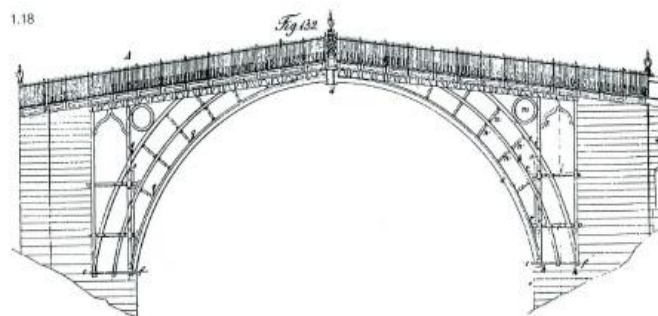
Statyba, kaip viena iš svarbiausių šalies ūkinės veiklos sričių, užima reikšmingą vietą žmonių ir visos valstybės socialiniame ekonominiame gyvenime. Įvairių paskirčių statyba buvo ir yra bet kurios valstybės to laikotarpio ekonominio gyvenimo atspindys. Jos plėtros pradžia siekia neatmenamus laikus, kada pirmykščiam žmogui kilo būtinybė turėti stogą virš galvos [5].

Plieninės konstrukcijos pradėtos naudoti visai neseniai. Metalas, kaip pagrindinė statybinių konstrukcijų medžiaga, Europoje pradėtas naudoti XVII a. pabaigoje. Laikoma, kad pirmosios metalinės konstrukcijos Rusijoje buvo padarytos XVII a. iš kaltos geležies elementų. Iš tokių konstrukcijų žinomos Maskvos senojo Kremliaus perdangos (1640), Ivano Didžiojo varpinės kupolo karkasas (1603) ir kt. [5].

XVIII a. buvo pradėtos naudoti lietos špižinės konstrukcijos. Pirmoji špižinė konstrukcija pastatyta Urale (1725). Anglijoje, Prancūzijoje ir kitose Vakarų Europos valstybėse metalinės (špižinės) konstrukcijos pradėjo plisti XVIII a. viduryje. Vienas pirmųjų didelių metalinių konstrukcijų statinių – 30 m angos špižinis tiltas pav.1, - pastatytas 1776-1779 m. Anglijoje [5].



Pav. 1. Koulbrukdeilo tilto nuotrauka [16]



Pav. 2. Koulbrukdeilo tilto eskizas [16]

Metalinės konstrukcijos buvo naudojamos ir didelių angų visuomeninių pastatų stogams. Vienos iš seniausių labai gražios yra Prancūzų komedijos teatro metalinės konstrukcijos, pastatytos 1786 m. Paryžiuje.[5]

Iš pradžių metalinės konstrukcijos pastatų statyboje buvo naudojamos labai retai, tik išskirtiniais atvejais, nes metalurgijos pramonė negalėjo tiekti statyboms reikiamo metalo kiekio, taip pat nebuvo sukurti skaičiuojamieji metodai metalinių konstrukcijų projektavimui [7].

Strypinėms santvaroms pradėtos naudoti mišrios konstrukcijos: tempiami elementai buvo gaminami iš geležies, o gniuždomi – iš medienos arba špižiaus. Konstrukcijų dalys buvo jungiamos varžtais.

Dabar metalinės konstrukcijos tobulinamos, naudojant didelio stiprumo plienus, aliuminio lydinius, parenkant naujas konstrukcijų formas ir naudojant išankstinį įtempimą, plačiai taikomos kabančiosios, kevalinės ir mišriosios konstrukcijos, tobulinami skaičiavimo metodais, mažinami gamybos ir montavimo kaštai [7].

2.2 Metalinių konstrukcijų naudojimo sritys, jų pranašumai ir trūkumai

Gerų mechaninių svaybių ir vienodos struktūros metalas yra naudojamas įvairioms statybinėms konstrukcijoms gaminti. Pagrindinės šių konstrukcijų naudojimo sritys yra:

1. Civilinių pastatų karkasinės konstrukcijos. Jos sudaro daugiaaukštės kolonos, sujungtos perdangų sijomis, ryšiais ir sienų konstrukcijomis;

2. Vienaaukščių pramoninių pastatų statyba. Pastato karkasą sudaro plieniniai rėmai arba kolonos, pastato viršuje skersine kryptimi sujungtos rygeliu - sija arba strypine santvara, o išilgine kryptimi - strypine konstrukcija. Santvaromis gali būti perdengiamos 30 m ir daugiau angos;

3. Tiltų ir kranų konstrukcijos;

4. Specialūs didelių angų pastatai. Tai įvairūs angarai, garažai, sporto salės, dengtos prekyvietės. Šio tipo pastatų perdangos yra iš sudėtingų sijinų, rėminių arba arkinių konstrukcijų;

5. Aukštų statinių;

6. Įvairios paskirties bunkeriai, rezervuarai ir kitos talpyklos, kurių pagrindą sudaro plonos sienos iš plieninių lakštų ir kitokios paskirties konstrukcijos [6];

Plieninių konstrukcijų naudojimo sričių įvairovė lemia geras konstrukcijų stiprumas ir patikimumas, greita ekonomišką statybą, ilgaamžiškumas, patogus ir pigus naudojimas bei estetiškumas. Tai yra pagrindiniai plieninių konstrukcijų privalumai. Plieninės konstrukcijos, palyginti su kitomis konstrukcijomis, yra lengvos. Pagal šį rodiklį jos beveik prilygsta medinėms. Kita teigiama savybė paprastas metalinių elementų jungimas. Tai leidžia atskirus elementus ir jų dalis, pagamintas gamyklose, nesunkiai sujungti statybvietyje. Atsižvelgiant į jungimo būdą, jos gali būti lengvai išmontuojamos. Tai labai svarbu rekonstruojant pastatus [6].

Be minėtų pranašumų, metalinės konstrukcijos turi ir neigiamų savybių. Metalinės konstrukcijos, veikiamos agresyvių aplinkos veiksnių, rūdija ir netenka pirmąkart atsparumo pastovumui, reikalauja nuolatinės priežiūros, apsaugos nuo neigiamų aplinkos veiksnių. Tai apsunkina ir pabrangina šių konstrukcijų naudojimą. Kartais dėl šio trūkumo metalinių konstrukcijų tenka atsisakyti [6].

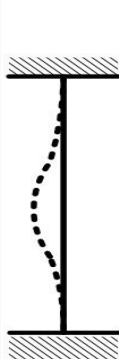
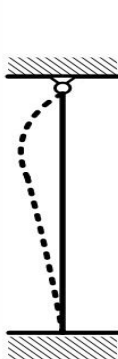
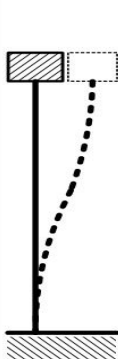
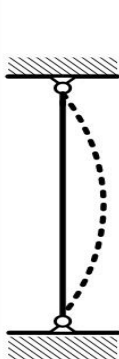
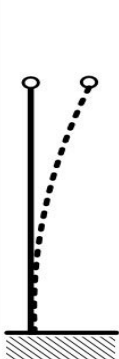
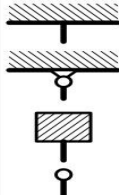
1.3 Metalinės kolonos ir jų tipai

Metalinės kolonos tai stovai, į kuriuos remiasi stogų, tarpaukštinių perdangų, darbo aikštelių, estakadų ir kitos konstrukcijos. Kolonos į jas atremtų konstrukcijų apkrovas perduoda pamatams [9].

Kolonos sudarytos iš trijų dalių liemens - pagrindinio laikančio elemento; galvenos, kuri į ją atremtų konstrukcijų atramines reakcijas paskirsto liemens skerspjūvyje; bazės, kuri liemens įrašą paskirsto didesniame pamato plote. Kolonos skirstomos pagal konstrukciją į ištisines ir spragotas; pagal skerspjūvį į pastovaus ir kintamo skerspjūvio; pagal gamybos būdą į suvirintas ir kniedytas; pagal apkrovimo pobūdį į centriškai ir ekscentriškai gniuždomas.

Koloną reikia pasirinkti tokio tipo, kad pagal apkrovos didumą kitų konstrukcijų prijungimo patogumą, eksploatacijos sąlygas, gamybos galimybes, turimą metalo asortimentą ir kt. sprendimas būtų ekonomiškiausias [9].

Kolonos skaičiuojamoji schema priklauso nuo jos bazės ir galvenos konstrukcijos, tai yra nuo to, kaip kolona bus jungiama su pamatu ir su ant jos atremiamomis konstrukcijomis. Šie prijungimai yra standūs (gemiškas) arba gali pasisukti (šarnyriškas). Kolonų skaičiuojamosios schemas pav. 3 pasirinkimas yra ekonominis uždavinys, kurį sprendžiant įvertinama medžiagų sąnaudos, gamybos ir montavimo sudėtingumas bei darbo sąnaudos ir kt.[10].

Kolonų klūpdymo formos parodytos punktyrine lynija					
Koficientas μ	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0
Kolonų galų įtvirtinimo būdai		Standžiai įtvirtintas Gali pasisukti Gali pasisukti Laisvas			

Pav. 3. Kolonų skaičiuojamosios schemas [12]

1.4 Gniuždomų strypų pusiausvyros stabilumas

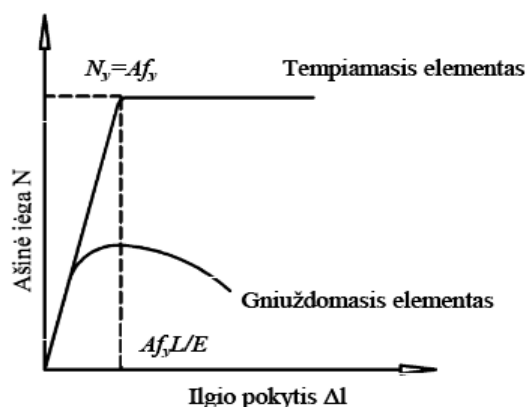
Konstrukcijos ir bet kurio jos elemento pusiausvyra turi būti stabili. Stabilumas - konstrukcijos ar jos elemento savybė išlaikyti pradinę pusiausvyros formą, po bet kokių trikdymų visada išlaikyti tą patį pradinį buvį. Ši savybė yra ne mažiau svarbi, kaip stiprumas ir standumas [11].

Nesideformuojančio kūno pusiausvyros formos stabilumas nepriklauso nuo kūną veikančių jėgų didumo. Tačiau nuo kūną veikiančių jėgų priklauso deformuojamų konstrukcijos elementų stabilumas, tai yra gniuždomųjų strypų pusiausvyros stabilumas. Kuo didesnė strypo pradinė gniuždomoji apkrova, tuo sunkiau išlinkusiam strypui išsitiesti. Kai gniuždomoji jėga yra pasiekusi tam tikrą didumą, strypo pradinė pusiausvyros forma yra neutrali, o kai ta jėga dar didesnė pusiausvyros forma tampa nebetabili. Taip apkrautas strypas, ėmęs dėl kokio trikdymo linkti, įgyja vis didesnius ir didesnius skersinius poslinkius ir nebeišsitiesia net ir tada, kai pašalinio trikdymo nebėra, kai išnyksta skersinių poslinkių priežastis. Strypas pereina į kitokią stabilią pusiausvyros formą: jėga veikusi išilgai strypo ašies, ėmą strypą ne tik gniuždyti, bet jau ir lenkti [12].

Minėtoji skersinių poslinkių priežastis tėra tik impulsas strypui išėiti iš pradinės pusiausvyros formos. Nuo jos visiškai nepriklauso, ar strypo tiesioji pusiausvyros forma yra stabili ar nestabili. Strypo pusiausvyros stabilumas priklauso tik nuo strypo matmenų, jo medžiagos ir pagrindinės gniuždomosios jėgos didumo [12].

1.5 Centriškai gniuždomos kolonos

Centriškai gniuždomos kolonos yra konstrukciniai elementai, kuriose vyraujanti įraža yra ašinė gniuždymo jėga. Neliaunų gniuždomųjų elementų elgsena yra tokia pati, kaip tempiamųjų, kol metale nepasireiškia takumo įtempiai. Priešingai nei tempimo atveju, gniuždomo elemento atsparumui didelės įtakos turi elemento ilgis. Liaunų elementų atsparumas gniuždant gali labai ženkliai skirtis nuo atsparumo tempiant [1].



Pav. 4. Gniuždomo ir tempiamo strypo ašinės jėgos priklausomybė nuo pailgėjimo [1]

Gniuždomų elementų suirimas - klupumas atsiranda netikėtai, be įspėjamųjų požymių tai yra be didelių deformacijų, plyšių atsiradimo, gali sukelti dideles avarijas projektuojant gniuždomuosius elementus [14].

Būdingiausias stabilumo netekimo pavyzdys yra liaunojo strypo klupdymas (žr. 6 pav.). Kol gniuždymo jėga nedidelė, paveikus strypą horizontalia jėga jis išlinksta, bet jėgą pašalinus, sugrįžta į pirminę pusiausvyros formą. Padidinus gniuždymo jėgą iki kritinio didumo, išlenktas strypas neišsitiesia, nors išlinkimo priežastis ir pašalinama. Padidinus jėgą virš kritinio dydžio, strypas išlinksta dėl visiškai nežymių atsitiktinių priežasčių: pradinio strypo išlinkimo, gniuždymo jėgos necentriško veikimo, strypo medžiagos nevienodumo ir kt. Tuomet strype pasireiškia sąlyginai didelės skersinės deformacijos. Tai vadinama elemento stabilumo praradimu arba klupumu [1].

Kritinei gniuždymo jėgai apibūdinti dažniausiai naudojamas labai ilgo ir plono tiesaus strypo modelis (Beedle, et al., 1964). Kol strypo pusiausvyros pradinė forma stabili, strypo poslinkiai dėl centriškai pridėtos išilginės gniuždomosios jėgos — tik išilginiai. Dėl kokios nors pašalinės priežasties strypas gali įgyti ir skersinių poslinkių (žr. 6 pav.); ta pašalinė priežastis gali būti įvairi — šoninė apkrova (vėjo), nedidelė pagrindinės apkrovos nuokrypa nuo centrinės ašies, netolygus strypo temperatūros pokytis ir kt. Kuo didesnė strypo pagrindinė (gniuždomoji) apkrova, tuo sunkiau išlinkusiam strypui išsitiesti. Kai gniuždomoji jėga yra pasiekusi tam tikrą didumą, strypo pradinė pusiausvyros forma yra neutrali, o kai jėga padidinama iki tam tikros reikšmės, pusiausvyros forma tampa nestabili [1].

Apkrovos (jėgos, įtempimo) reikšmė, kurią viršijus konstrukcijos ar jos elemento pusiausvyra tampa nestabili, vadinama kritine apkrova (jėga, įtempimu) [11].

Tiesių gniuždomųjų strypų stabilumą nagrinėjo ir formulę kritinei jėgai nustatyti išvedė Sankt Peterburgo mokslų akademijos akademikas Leonardas Oileris (1744). Nagrinėjamas tiesus pastovaus skerspjūvio, lanksčiai atremtas, centriškai gniuždomas strypas (žr. 6 pav.). Daroma prielaida, kad jis yra išlinkęs pagal lėkštą kreivę ir kad toje padėtyje jį laiko kritinė jėga F_{cr} .

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{(l \cdot \mu)^2}$$

čia F_{cr} - kritinė jėga,

μ - strypo galų įtvirtinimo sąlygų koeficientas,

l - strypo geometrinis ilgis,

E -tamprumo modulis,

I_{min} -inercijos momentas,

Gniuždymo jėgai pasiekus tam tikrą (kritinį) dydį, elementas savo pradinės formos neišlaiko, išlinksta ir suklumpa, nors įtempimai tuo metu būna gerokai mažesni už ribinius. Taigi

stiprumo ir standumo sąlygų tenkinimas dar negarantuoja saugaus gniuždomųjų elementų darbo. Juos skaičiuojant būtina užtikrinti, kad gniuždymo jėga neviršytų kritinės jėgos, t. y. mažiausios jėgos, kuriai veikiant strypas tampa nestabilus, t. y. praranda pirminę pusiausvyros formą. Darant prielaidą, kad elementas yra visiškai tiesus ir deformuojasi tamprioje stadijoje, galima teigti, kad strypė nepasireiškia lenkimas, kol strypą veikianti ašinė jėga nepasiekia kritinės reikšmės [12].

Lenkimo plokštuma priklauso ne nuo apkrovos, o nuo strypo skerspjūvio: strypas išlinksta plokštumoje, kuri statmena skerspjūvio ašiai su mažiausiu inercijos momentu. Todėl lygtyje dera įrašyti I_{min} . [1].

Formulė $F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{(l \cdot \mu)^2}$ vadinama Oilerio formule. Pagal ją kritinė jėga tiesiog proporcinga strypo standumui, atvirkščiai proporcinga strypo ilgio kvadratui ir visiškai nepriklauso nuo medžiagos stiprumo rodiklių. 6 paveiksle pavaizduotos įvairių tiesaus strypo įtvirtinimo sąlygų schemos ir skaičiuojamojo ilgio koeficientai.

Tačiau ilgi gniuždomieji strypai suyra netekę pastovumo, išlinkę ir suklupe, įtempiai yra gerokai mažesni už skaičiuojamąjį stiprį. Ilgų strypų pastovumas priklauso nuo jų liaunio λ , kuris yra lygus strypo skaičiuojamojo ilgio l ir jo skerspjūvio mažiausio inercijos spindulio

$$\lambda = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$$

sanatykiui :

$$\lambda = \sqrt{\frac{l}{i_{min}}}$$

čia : λ liaunis,

l - strypo geometrinis ilgis,

I_{min} -inercijos momentas,

i_{min} - minimalus strypo skerspjūvio inercijos spindulys,

A - skerspjūvio plotas,

Kuo didesnis strypo liaunis, tuo mažesnė gaunama jėga, kurios veikiamas strypas netenka pastovumo.

Vadinasi, centriškai gniuždomi strypai gali suirti dėl dviejų priežasčių:

- 1) kai strypų įtempiai pasiekia takumo ribą ir netenka stiprumo;
- 2) kai strypo įtempiai netenka pastovumo, tai yra pasiekia kritiškuosius įtempius.

Gniuždomųjų strypų skerspjūvį dažniausiai lemia strypo liaunis. Tik standiesiems strypams su mažu λ jis gali būti svarbus ir todėl strypo stiprumas tikrinamas. Elemento liaunis įvairiomis kryptimis gali būti ne vienodas. Todėl skaičiuojant reikia imti didžiausią liaunio λ reikšmę [4].

Taigi, Oilerio formulė galioja tol, kol kritinis įtempimas neviršija proporcingumo ribos:

$$\sigma_{cr} \leq \sigma_{pr}$$

čia: σ_{cr} - kritinis įtempis,

σ_{pr} - proporcingumo riba,

Dabar galima nustatyti, kokių strypų kritinę jėgą leistina skaičiuoti Oilerio formule, čia:

$$\lambda \geq \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{pr}}} \equiv \lambda_{lim}$$

Tampraus strypo ribinis liaunis λ_{lim} priklauso tiksliai nuo strypo medžiagos savybių. Kai strypo liaunis pakankamai dydelis, ne mažesnis kaip λ_{lim} , kritinę jėgą galima skaičiuoti Oilerio formule. Kai liaunis mažesnis, strypas savo pusiausvyros stabilumą praranda, suklumpa, įtempiams jau viršijus proporcingumo ribą, gal net plastinėms deformacijoms atsiradus; jeigu skaičiuotume kritinę jėgą pagal Oilerio formulę, jos reikšmę gautume klaidingą, per dydelę. Tai ne tik klaidinga, bet ir pavojinga, nes strypą suklupdytų mažesnė apkrova negu paskaičiuota [13].

Ribinis liaunis, apibrėžiantis Oilerio formulės taikymo galimybę, paprastai yra kelių dešimčių didumo. Pavyzdžiui plieno strypo ribinis liaunis $\lambda_{lim}=100$ [14].

Teoriškai nustatyti kritinę jėgą, kai strypas deformuojamas už proporcingumo ribos, yra gana sudėtinga. Dažnai praktiniam skaičiavimui naudojamos empirinės formulės, paremtos gautais eksperimentais. Pavyzdžiui būna naudojama tiesinė kritinio įtempio išraiška.

$$\sigma_{cr} = a - b \cdot \lambda$$

arba parabolinė

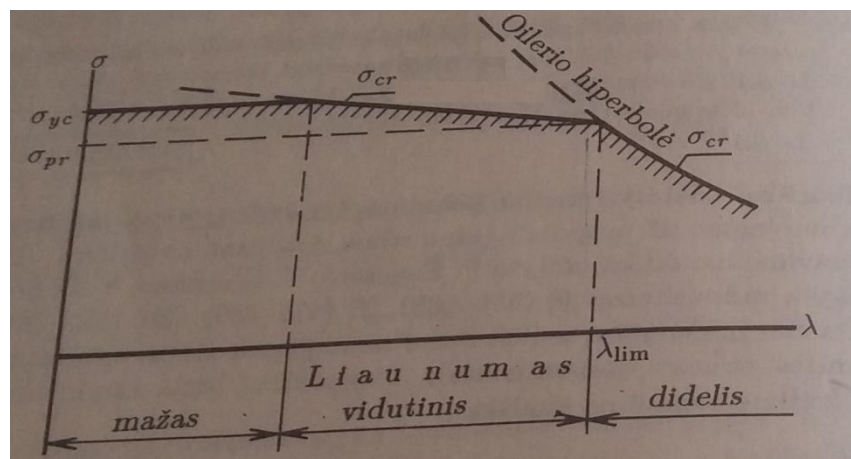
$$\sigma_{cr} = a - b + c\lambda^2$$

čia koeficientai a , b ir c priklauso nuo medžiagos savybių. Pavyzdžiui statybinio plieno kritinio įtempimo tiesinei išraiškai gali būti $a= 300$ MPa, $b = 1,2$ MPa.

Apskaičiuotąjį kritinį įtempimą padaugine iš strypo skerspjūvio ploto, gauname kritinės jėgos reikšmę. Šios formulės naudojamos vidutinio liaunumo strypų kritiniam įtempimui skaičiuoti; didelio liaunumo strypams tinka Oilerio formulė. Kai strypo liaunumas mažas, tai yra strypas storas ir trumpas, strypui suklupti pavojaus praktiškai nėra, nes jis stiprumą praranda ankščiau negu stabilumą, jo įtempimus riboja ne kritinio įtempimo reikšmė, bet stiprumo riba arba takumo įtempimas.

Gniuždomo strypo eksplotavimo ribas vaizdžiai parodo grafikas, nubraižytas koordinatinių σ įtempimo ir λ liaunio sistemoje (pav. 5). Grafiką sudaro trys ruožai: mažo liaunumo, apribotas takumo įtempimo (stiprumo ribos) lygiu, vidutinio liaunumo, apribotas tiesine (paraboline) kritinio įtempimo funkcija, ir didelio liaunumo, apribotas Oilerio hiperboline kritinio įtempimo funkcija. Suprantama, būtina ir atsargia, būtina atsižvelgti į visų veiksnių bei pateis skaičiavimo patikimumą

ir negalime leisti, kad apskaičiuotieji įtempiai strype siektų grafike parodytas ribas, jie turi būti mažesni [8].



Pav. 5. Gniuždomo strypo eksploatacavimo ribų grafikas [12]

2. KOLONŲ ATSPARUMO KLUPDYMUI TYRIMAS

2.1 Tyrimų tikslas

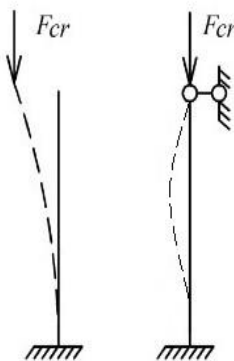
Ištirti kolonų atsparumą klupdymui skirtingų skerspjūvių kolonos, naudojant kompiuterinio skaičiavimo programa "SolidWorks". Palyginti skirtingų skerspjūvių kolonas, išsiaiškinant, kuris kolonos skerspjūvis geriausiai perima veikiančias apkrovas ir nepraranda pastovumo (pirminės pusiausvyros formos). Nagrinėsime kolonas iš skirtingų metalinių profilių - tai tuščiavidurio skritulio, tuščiavidurio kvadratinio ir dvitėjinės sijos formos profilių tipai.

Nustatant kolonas veikiančias kritines jėgas, bus lyginamos kolonos kurių skerspjūvio plotai, ilgiai, įtvirtinimo būdai, skerspjūvio ploto inercijos momentas ir kolonas veikianti vienoda apkrova. Šiuo atveju keisis tik profilių tipai, jei skerspjūvio plotai vienodi, tai medžiagos kolonos gamybai kiekvienu atveju sunaudojama vienodai. Todėl kolonų gamybos kaštai kiekvienu atveju bus lygūs. Kolonų skaičiavimui parenkami kolonų ilgiai 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, jis nekeičiamas.

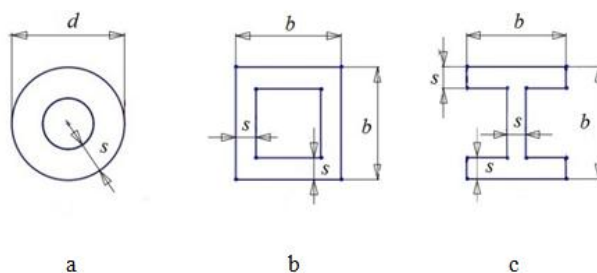
2.2 Tyrimų eiga ir rezultatai

Skaičiuojamosios klupdomos kolonos schemas pateiktos paveiksle 6. Buvo padarytos šios prielaidos:

- kolona yra vienalytė ir deformuojama tik tampriai;
- įvertintas kolonos savasis svoris;
- klupdymo apkrova pridėta kolonos skerspjūvio geometriniam centre.



Pav. 6. Klupdomos kolonos skaičiuojamosios schemas



Pav. 7. Tyrime naudoti profiliai

Tyrimė naudoti du kolonų įtvirtinimo būdai (pav. 6) ir 9 trys skirtingi kolonos skerspjūvio formos profiliai (pav. 7): tuščiaviduris skritulys (žiedas), tuščiaviduris kvadratas ir dvitėjinis. Tai statybose dažniausiai naudojami kolonų profiliai.

Norint ištirti, kuris profilis racionaliausias tyrimė, buvo naudoti aukščiau minėti profiliai, kurių skerspjūvio plotai yra vienodi, t. y. sunaudojamas toks pat medžiagos kiekis. Darbe naudotus profilius apibūdina keturi geometriniai parametrai: gabaritinis matmuo (d arba b) ir sienelės storis s , skerspjūvio plotas A , ir skerspjūvio ploto inercijos momentas I . Kai žinomas profilio skerspjūvio plotas ir vienas iš išvardintų geometrinių parametrų, tai likęs parametras tampa apibrėžtas.

1. Pirmu variantu skaičiuojamos 2, 4, 6 ir 8 metrų kolonos, kai vienas kolonos galas - standžiai įtvirtintas, kitas kolonos galas - laisvas pav. 6

2. Antru variantu skaičiuojamos 2, 4, 6, ir 8 metrų kolonos, kai vienas kolonos galas - standžiai įtvirtintas, kitas kolonos galas - gali pasisukti (šarnyriškai) pav. 6

Pirmas ir antras skaičiavimo variantai skaičiuojami naudojant šiuos parametrus:

a) kai pasirenkamas skerspjūvio plotas A , yra lygus 50, 100, 150, 200, 250, 300 cm^2 pateikta 1 lentelėje. Kitu variantu pasirenkama profilio sienelės storis s , yra lygus 10, 15, 20, 25, 30 mm lentelė 2 ir paskutiniu variantu pasirenkami gabaritiniai matmenys b arba d , yra lygus 150, 200, 250, 300, 350 mm lentelė 3.

Lentelė 1. Kolonų geometriniai parametrai, kai pasirenkamas skerspjūvio plotas A

Skerspjūvio plotas A , cm^2	50	100	150	200	250	300
Skritulio formos profilio sienelės storis s , mm	8.3068	17.4453	27.7302	39.7458	54.8534	78.8846
Kvadratinės formos profilio sienelės storis s , mm	6.4585	13.3975	20.9431	29.2893	38.7628	50.0000
Dvitėjinės formos profilio sienelės storis s , mm	8.5786	17.7124	27.5255	38.1966	50.0000	63.3975
Profilių gabaritiniai matmenys b arba d lygus 200 mm (const)						

Lentelė 2. Kolonų geometriniai parametrai, kai pasirenkamas sienelės storis s

Sienelės storis s , mm	10	15	20	25	30
Skritulio formos profilio gabaritiniai matmenys b arba d , mm	646.9400	439.6280	338.4720	279.7770	242.3140
Kvadratinės formos profilio gabaritiniai matmenys b arba d , mm	510.0000	348.3330	270.0000	225.0000	196.6660
Dvitėjinės formos profilio gabaritiniai matmenys b arba d , mm	673.3100	454.4400	346.6600	283.3100	242.2200
Profilių skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 (const)					

Lentelė 3. Kolonų geometriniai parametrai, kai pasirenkamas gabaritinis matmuo b arba d

Gabaritiniai matmenys b arba d , mm	150	200	250	300	350
Skritulio formos profilio sienelės storis s , mm	75.0000	39.7500	28.7941	22.9938	19.2580
Kvadratinės formos profilio sienelės storis s , mm	50.0000	29.2893	21.9224	17.7124	14.9219
Dvitėjinės formos profilio sienelės storis s , mm	60.9612	38.1966	28.8928	23.4436	19.7939
Profilų skerspjuvio plotas A lygus 200 cm^2 (const)					

b) Kai pasirenkamas sienelės storis s , kuris lygus 10, 15, 20, 25, 30 mm pateikta 4 lentelėje, ir gabaritiniai matmenys b arba d , kurie yra lygus 150, 200, 250, 300, 350 mm (lentelė 5), kai skerspjuvio ploto inercijos momentas parenkamas vienodas, tai yra $I=2.5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$. Kai žinomas skerspjuvio ploto inercijos momentas ir vienas iš išvardintų parametru, tai likęs parametras tampa apibrėžtu.

Lentelė 4. Kolonų geometriniai parametrai, kai pasirenkamas sienelės storis s , o inercijos momentas vienodas

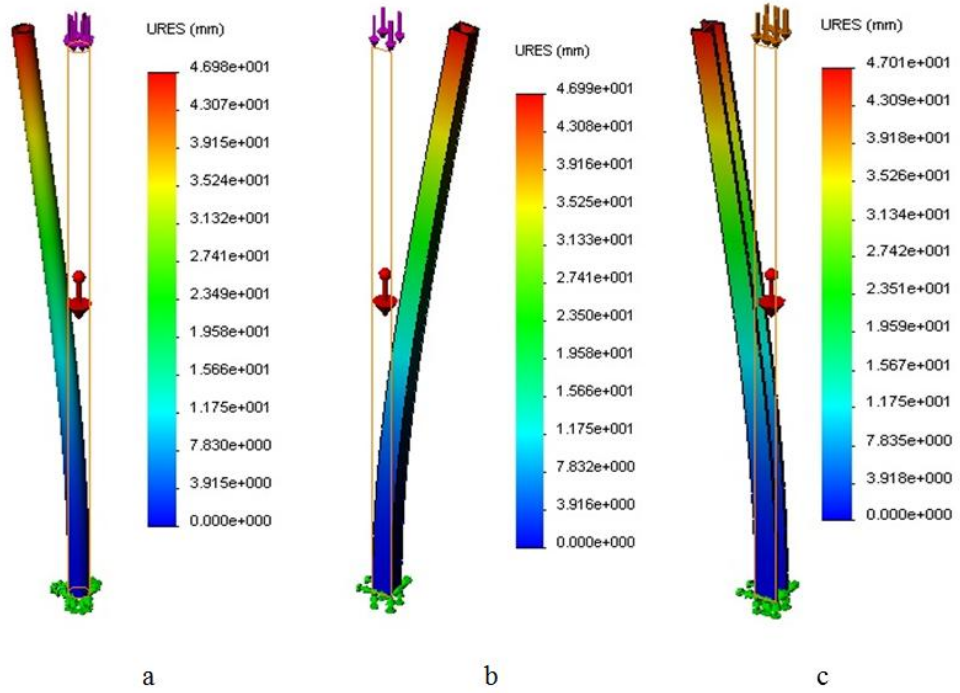
Sienelės storis s , mm	10	15	20	25	30
Skritulio formos profilio gabaritiniai matmenys b arba d , mm	195.1563	176.4428	166.1950	160.0313	156.1706
Kvadratinės formos profilio gabaritiniai matmenys b arba d , mm	165.1471	150.1683	142.2294	137.6516	134.9374
Dvitėjinės formos profilio gabaritiniai matmenys b arba d , mm	246.5591	215.2937	195.4725	181.2969	170.4292
Profilio skerspjuvio ploto inercijos momentas I lygus $2.5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$					

Lentelė 5. Kolonų geometriniai parametrai, kai pasirenkamas gabaritinis matmuo b arba d , o inercijos momentas vienodas

Gabaritiniai matmenys b arba d , mm	150	200	250	300	350
Skritulio formos profilio sienelės storis s , mm	67.0909	9.1350	4.2902	2.4156	1.5041
Kvadratinės formos profilio sienelės storis s , mm	15.0805	5.0586	2.4724	1.4086	0.8813
Dvitėjinės formos profilio sienelės storis s , mm	43.6713	18.6837	9.5935	5.5546	3.4984
Profilio skerspjuvio ploto inercijos momentas I lygus					

Tirta 2, 4, 6 ir 8 m ($L=2$ m, $L=4$ m, $L=6$ m, $L=8$ m) aukščio kolona, kurios medžiaga yra metalas (AISI 1035 steel (SS)) (tankis 7850 kg/m^3 , tamprumo modulis 205 GPa, Puasono koeficientas 0,29) [15].

Kolonų kritinė jėga apskaičiuota naudojant kompiuterinę programą "SolidWorks Simulation". Pirmosios visų profilių klūpdyimo formos, gautos su minėta programa, pateiktos 8 paveiksle.

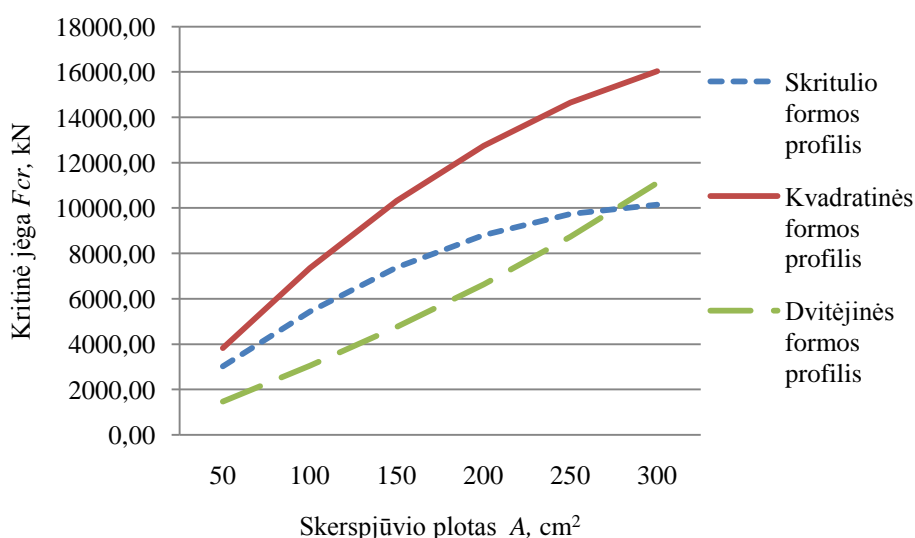


Pav. 8. Kolonų, kurių skerspjūvio profiliai yra tuščiaviduris skritulys (a), tuščiaviduris kvadratas (b) ir dvitėjinis (c), pirmosios klūpdymo formos

3. KOLONŲ ATSPARUMO KLUPDYMUI TYRIMAS PIRMU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU NAUDOJANT SKIRTINGUS GEOMETRINIUS PARAMETRUS

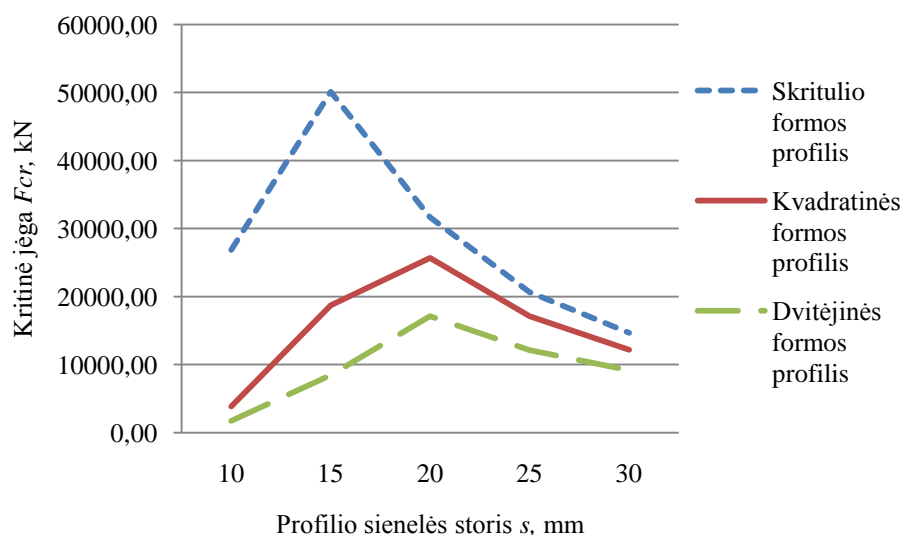
3.1 Dviejų metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas

Tiriama 2 metrų ilgio metalinė kolona, kaip kritinės jėgos vertė priklauso nuo skirtingų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra toks pat, pateikta 9 paveiksle. Gauta, kad didėjant skerspjūvio plotui kritinė jėga didėja. Šiuo atveju, kai skerspjūvio plotas 50 cm^2 , didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Skirtumas tarp kritinės jėgos kolonai su tuščiaviduriu kvadratinės formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 2,61 karto. Kai skerspjūvio plotas 300 cm^2 didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – skritulio formos profilis. Skirtumas tarp kritinės jėgos kolonai su tuščiaviduriu kvadratinės formos profiliu ir skritulio formos profiliu yra 1,58 karto.



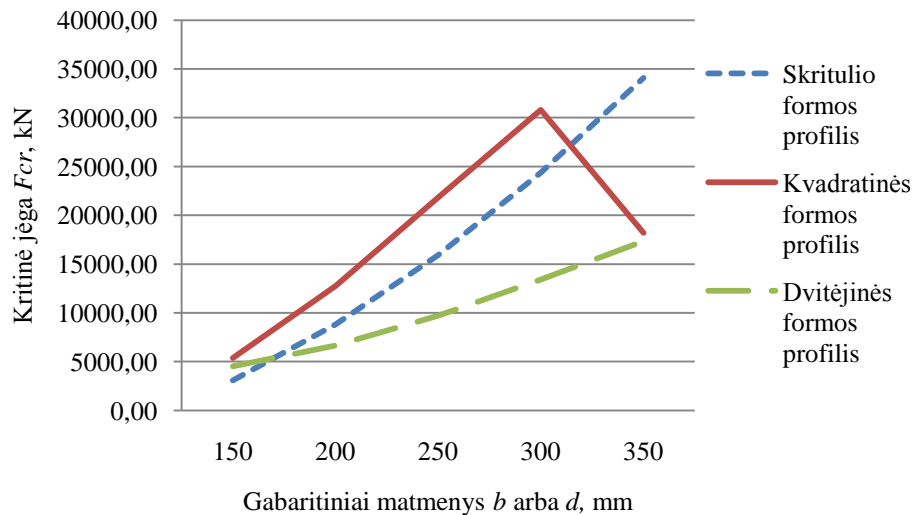
Pav. 9. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2 , pateikta 10 paveiksle. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga sparčiai mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir norint išlaikyti tokį pat skerspjūvio plotą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. skerspjūvio inercijos momentą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra nuo 5,93 iki 1,6 karto.



Pav. 10. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2 , pateikta 11 pav. Didėjant profilių gabaritiniui matmeniui kritinė jėga didėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – taip patskritulio formos profilis. Kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir kvadratinės formos profiliu yra 1,74 karto, skirtumas kolonai su tuščiavidurio skritulio formos ir dvitėjinės formos profiliu yra 1,96 karto. Tuščiavidurio kvadratinio profilio kritinė jėga didėja intervale nuo 150 mm iki 300 mm gabaritinio matmens. Tačiau ties 300 mm staigiai mažėja kritinė jėga tai yra kai 300 mm gabaritinis matmuo, kritinė jėga lygi 30792,00 kN, kai gabaritinis matmuo yra 350 mm kritinė jėga lygi 17332,00 kN sumažėja 1,77 karto.

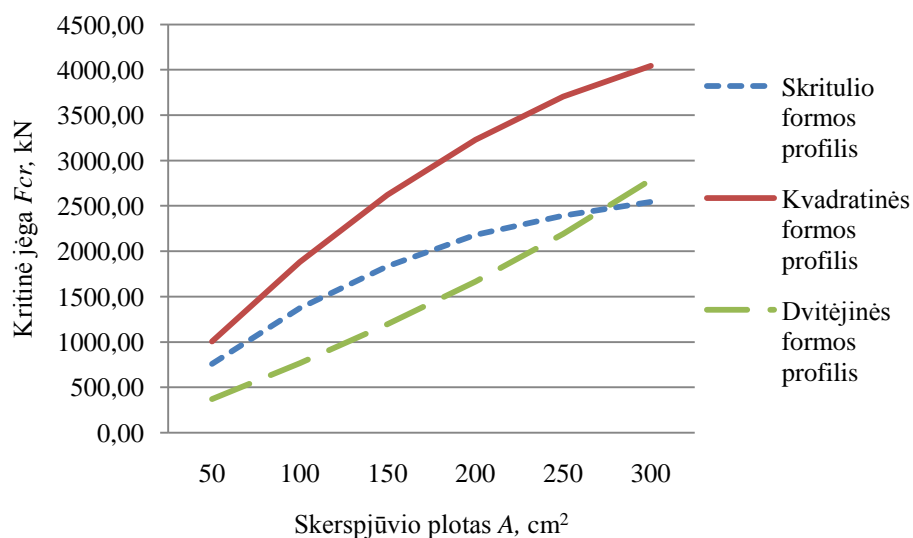


Pav. 11. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu atveju, kai profilių skerspjūvio plotas yra toks pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio kvadrato formos profilis. Tačiau antruoju atveju, kai profilių sienelių storiai yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko skritulio formos profilis. Trečiu atveju, kai gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis.

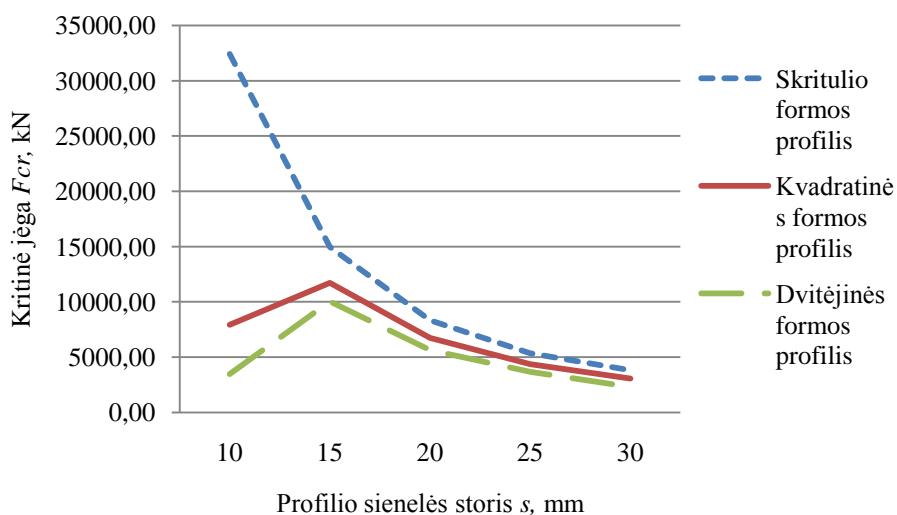
3.2 Keturių metrų ilgio kolonos atsparumo klūpdymui tyrimas

Kaip kritinės jėgos vertė priklauso nuo skirtingų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra toks pat, pateikta 12 paveiksle. Gauta, kad didėjant skerspjūvio plotui kritinė jėga didėja, o ilgėjant kolonos ilgiui kritinė jėga mažėja. Šiuo atveju kai skerspjūvio plotas 50 cm^2 didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Skirtumas tarp kritinės jėgos kolonai su tuščiaviduriu kvadratinės formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 2,71 karto. Kai skerspjūvio plotas 300 cm^2 didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – skritulio formos profilis. Skirtumas tarp kritinės jėgos kolonai su tuščiaviduriu kvadratinės formos profiliu ir skritulio formos profiliu yra 1,58 karto.



Pav. 12. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm

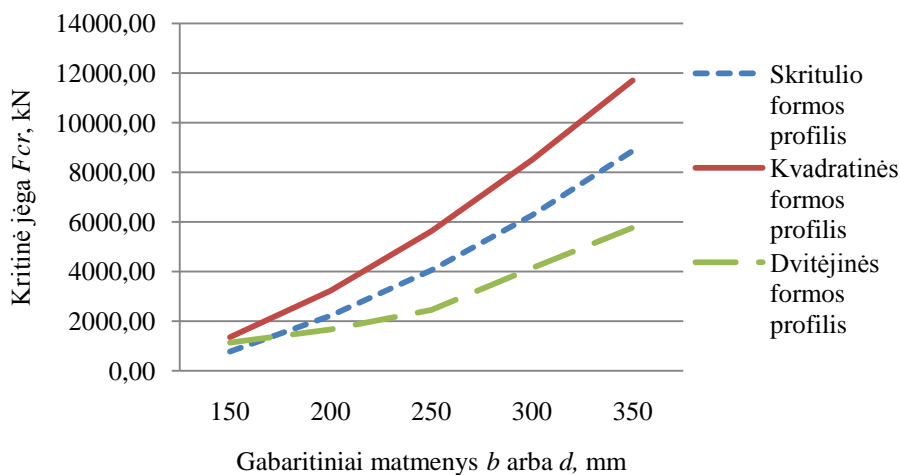
Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm², pateikta 13 pav. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga sparčiai mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir norint išlaikyti tokį pat skerspjūvio plotą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. skerspjūvio inercijos momentą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliumi ir dvitėjinės formos profiliumi yra nuo 9,32 iki 1,65 karto.



Pav. 13. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm²

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm², pateikta 14 pav. Didėjant profilių gabaritiniam matmeniui

kritinė jėga didėja, o ilgėjant kolonos ilgiui kritinė jėga mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Didžiausios kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio kvadrato formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 2,03 karto. Mažiausios kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio kvadrato formos profiliu ir skritulio formos profiliu yra 1,74 karto.

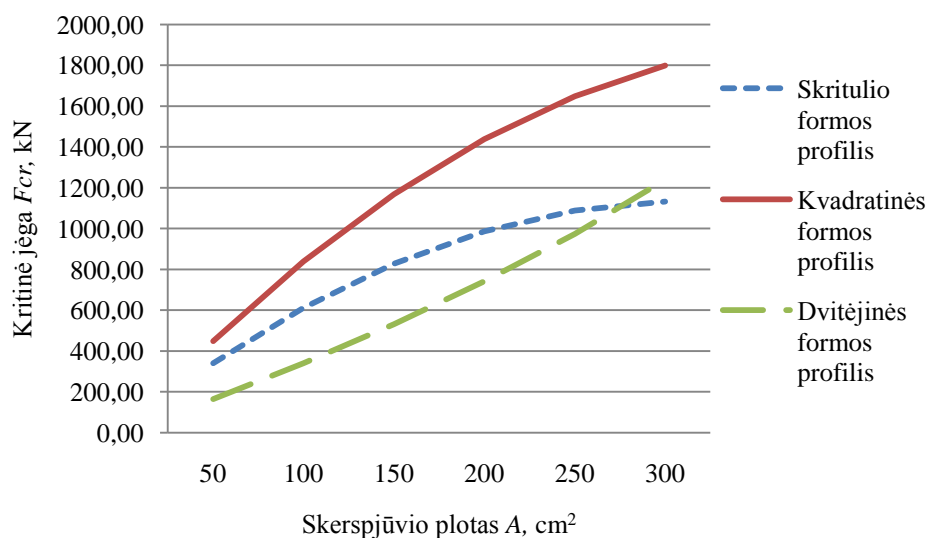


Pav. 14. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir trečiu atveju, kai profilių skerspjūvio plotas ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio kvadrato formos profilis. Tačiau antruoju atveju, kai profilių sienelių storiai yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko skritulio formos profilis.

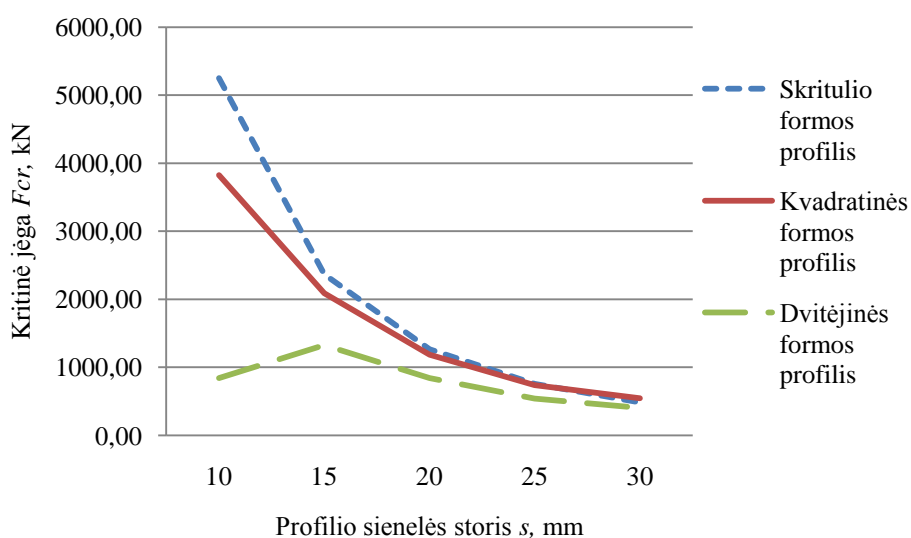
3.3 Šešių metrų ilgio kolonos atsparumo klūpdymui tyrimas

Kaip kritinės jėgos vertė priklauso nuo skirtingų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra toks pat, pateikta 15 paveiksle. Gauta, kad didėjant skerspjūvio plotui kritinė jėga didėja, o ilgėjant kolonos ilgiui kritinė jėga mažėja. Šiuo atveju kai skerspjūvio plotas 50 cm^2 didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Skirtumas tarp kritinės jėgos kolonai su tuščiaviduriu kvadratinės formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 2,73 karto. Kai skerspjūvio plotas 300 cm^2 didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – skritulio formos profilis. Skirtumas tarp kritinės jėgos kolonai su tuščiaviduriu kvadratinės formos profiliu ir skritulio formos profiliu yra 1,58 karto.



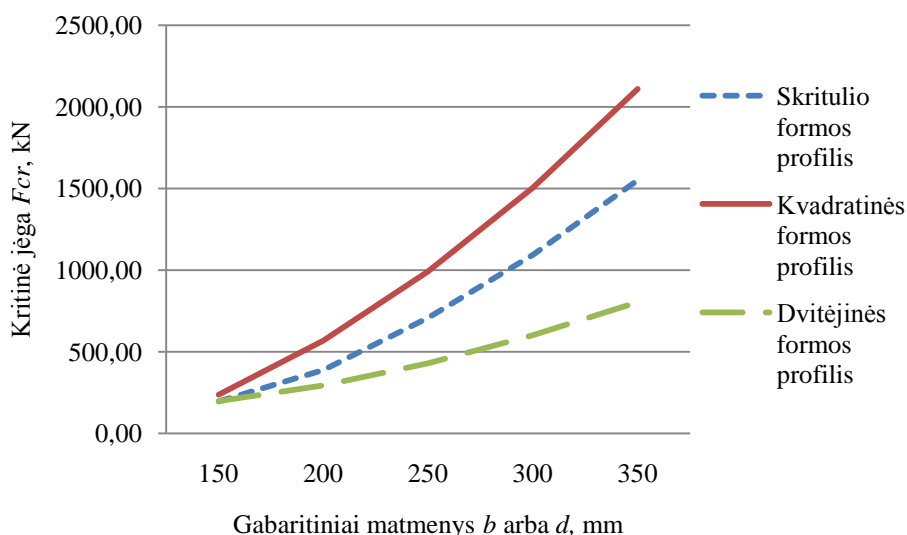
Pav. 15. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm², pateikta 16 paveiksle. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga sparčiai mažėja, o ilgėjant kolonos ilgiui kritinė jėga mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir norint išlaikyti tokį pat skerspjūvio plotą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. skerspjūvio inercijos momentą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra nuo 6,23 iki 1,19 karto.



Pav. 16. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm²

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2 , pateikta 17 paveiksle. Didėjant profilių gabaritiniui matmeniui kritinė jėga didėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio kvadrato formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 2,62 karto. Mažiausios kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio kvadrato formos profiliu ir skritulio formos profiliu yra 1,21 karto.

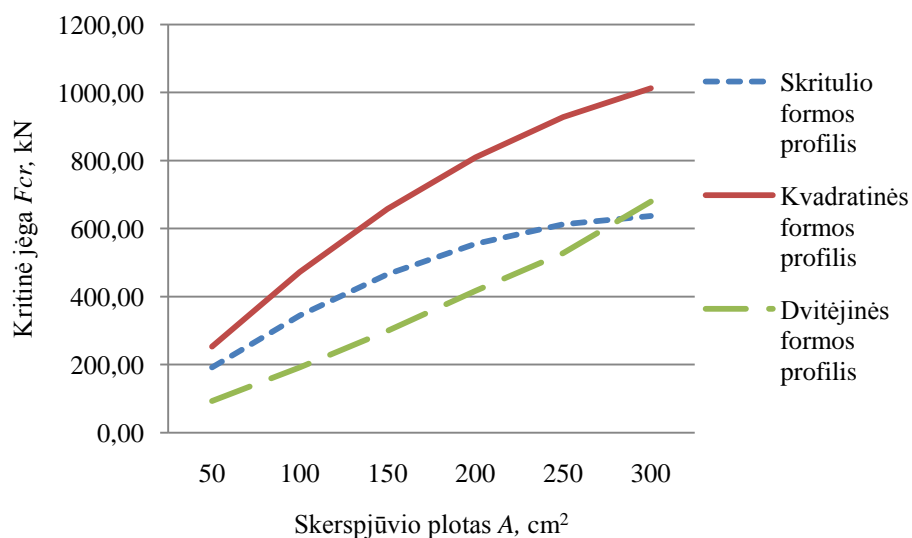


Pav. 17. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir trečiu atveju, kai profilių skerspjūvio plotas ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio kvadrato formos profilis. Tačiau antruoju atveju, kai profilių sienelių storiai yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko skritulio formos profilis. Rezultai gauti panašūs į 4 metrų ilgio kolonos tyrimo rezultatus.

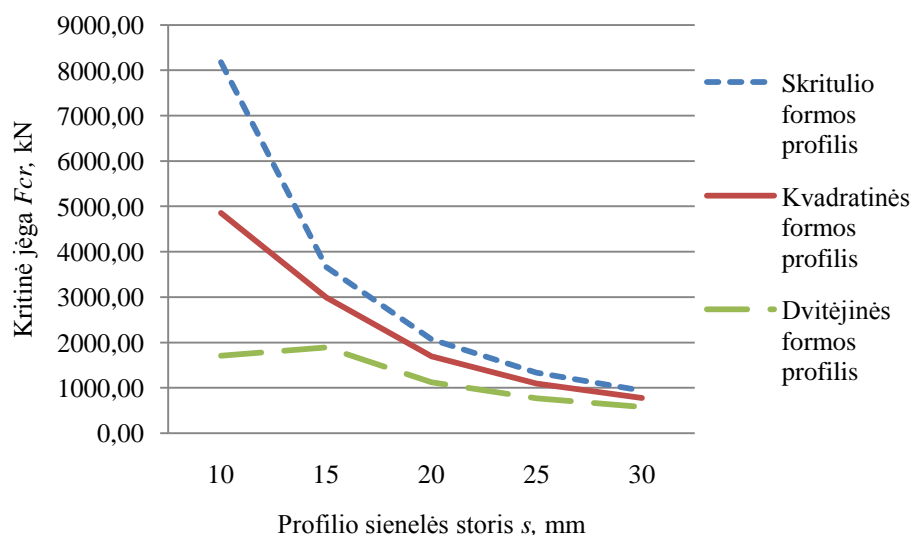
3.4 Aštuonių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas

Kaip kritinės jėgos vertė priklauso nuo skirtingų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra toks pat, pateikta 18 pav. Gauta, kad didėjant skerspjūvio plotui kritinė jėga didėja, o ilgėjant kolonos ilgiui kritinė jėga mažėja. Šiuo atveju didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – skritulio formos profilis. Skirtumas tarp kritinės jėgos kolonai su tuščiaviduriu kvadratinės formos profiliu ir skritulio formos profiliu yra 1,59 karto.



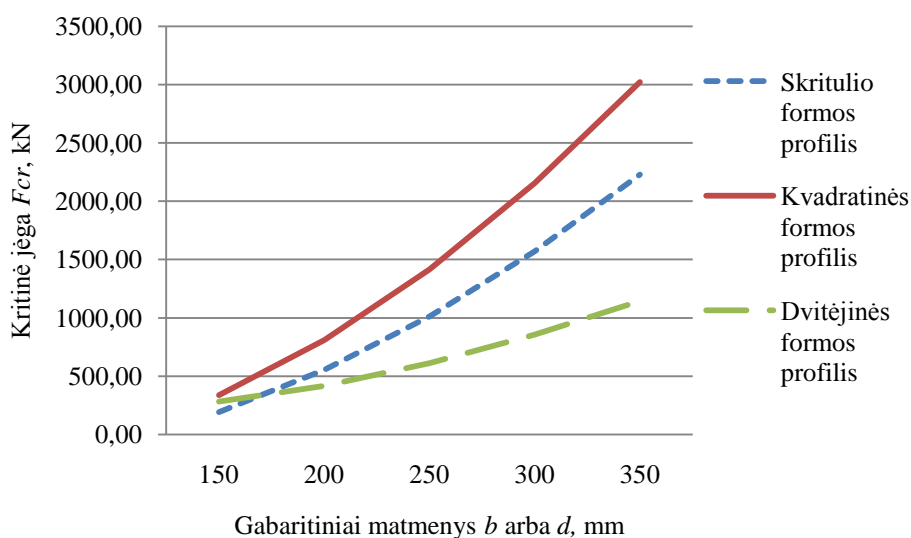
Pav. 18. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm², pateikta 19 paveiksle. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga sparčiai mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir norint išlaikyti tokį pat skerspjūvio plotą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. skerspjūvio inercijos momentą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra nuo 4,79 iki 1,61 karto.



Pav. 19. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm²

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2 , pateikta 20 paveiksle. Didėjant profilių gabaritiniui matmeniui kritinė jėga didėja, o ilgėjant kolonos ilgiui kritinė jėga mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio kvadrato formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 2,63 karto. Mažiausios kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio kvadrato formos profiliu ir skritulio formos profiliu yra 1,75 karto.



Pav. 20. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir trečiu atveju, kai profilių skerspjūvio plotas ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio kvadrato formos profilis. Tačiau antruoju atveju, kai profilių sienelių storai yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko skritulio formos profilis. Rezultai gauti panašus į 4 ir 6 metrų ilgio kolonos tyrimo rezultatus.

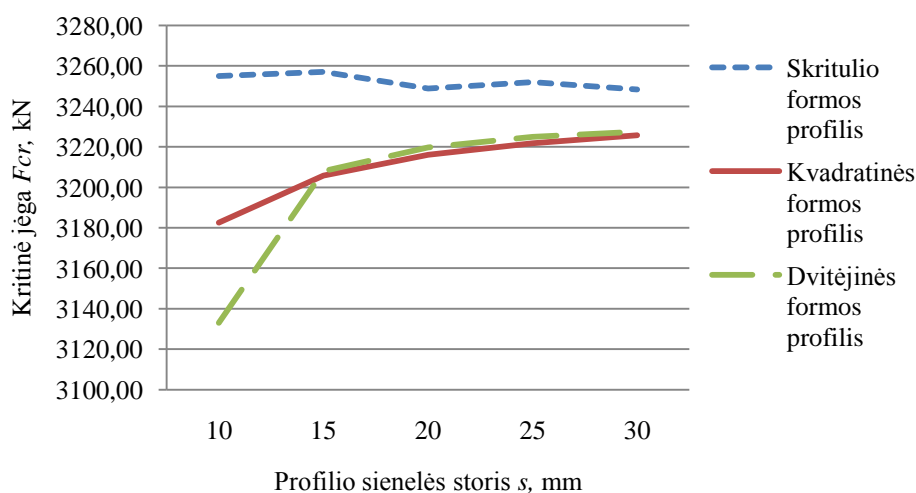
4. KOLONŲ ATSPARUMO KLUPDYMIUI TYRIMAS PIRMU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU, NAUDOJANT SKIRTINGUS GEOMETRINIUS PARAMETRUS, KAI KOLONŲ SKERSPJŪVIO PLOTO INERCIJOS MOMENTAS VIENODAS VISIEMS NAUDOJAMIEMS KOLONŲ PROFILIAMS

Naudojant kompiuterinę programą „Mathcad 14.0“ apskaičiuojami reikalingi skaičiavimo deriniai, tai yra apskaičiuojamas kolonų gabaritinis matmuo b arba d , kai visiems kolonų tipams skerspjūvio pločio inercijos momentas vienodas, tai yra $I=2.5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, kolonų sienelės storis s parenkamas 10, 15, 20, 25, 30 mm (4 lentelė).

Taip pat apskaičiuojamas kolonų sienelės storis s , kai skerspjūvio pločio inercijos momentas vienodas $I=2.5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, o kolonų gabaritiniai matmenys b arba d parenkami 150, 200, 250, 300, 350 mm, pateikta 5 lentelėje.

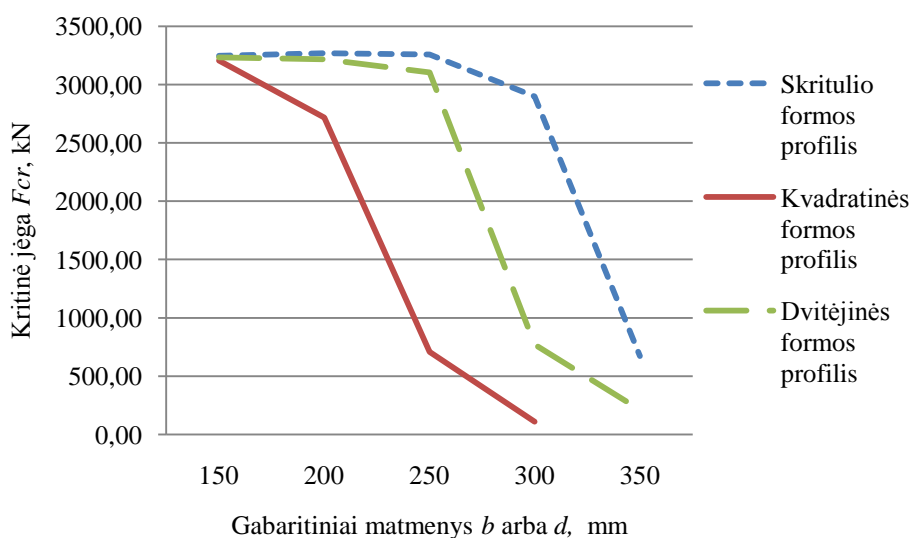
4.1 Dviejų metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio pločio inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ (21 pav). Didėjant sienelės storiui kritinė jėga didėja, kvadratinės ir dvitėjinės formos profilių, o tuščiavidurio skritulio formos profilio mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir išlaikant tokį pat skerspjūvio pločio inercijos momentą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. kolonos skerspjūvio plotą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės ir kvadratinės formos profilis. Didžiausias kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 1,03 karto.



Pav. 21. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio pločio inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 22 pav. Didėjant profilių gabaritiniui matmeniui kritinė jėga mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – kvadratinės formos profilis. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus gabaritinį matmenį ir išlaikant tokį pat skerspjūvio ploto inercijos momentą, būtina mažinti profilių sienelių storius, t. y. kolonos skerspjūvio plotą. Kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir kvadratinės formos profiliu yra 26,83 karto kai gabaritinis matmuo yra lygus 300 mm.

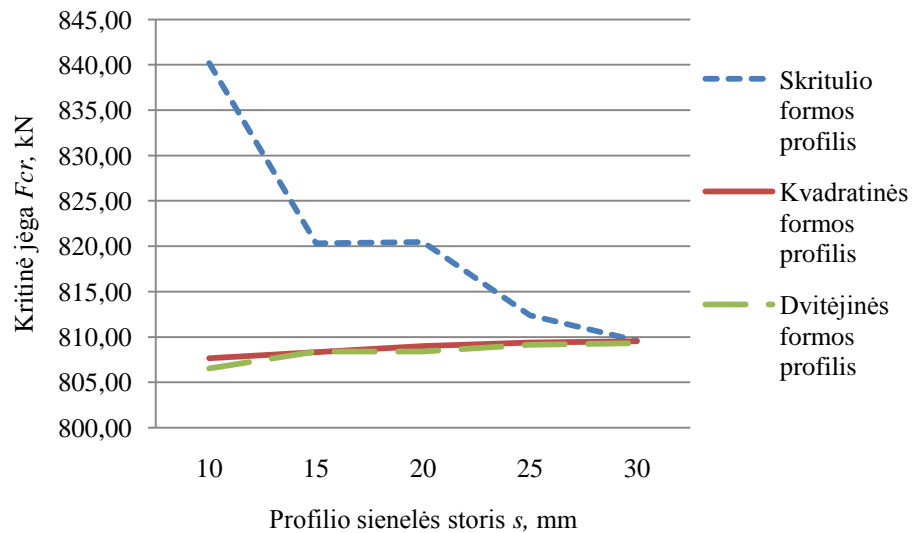


Pav. 22. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir antru atveju, kai profilių sienelės storiai, gabaritiniai matmenys vienodi, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis. Mažiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio kvadrato formos profilis.

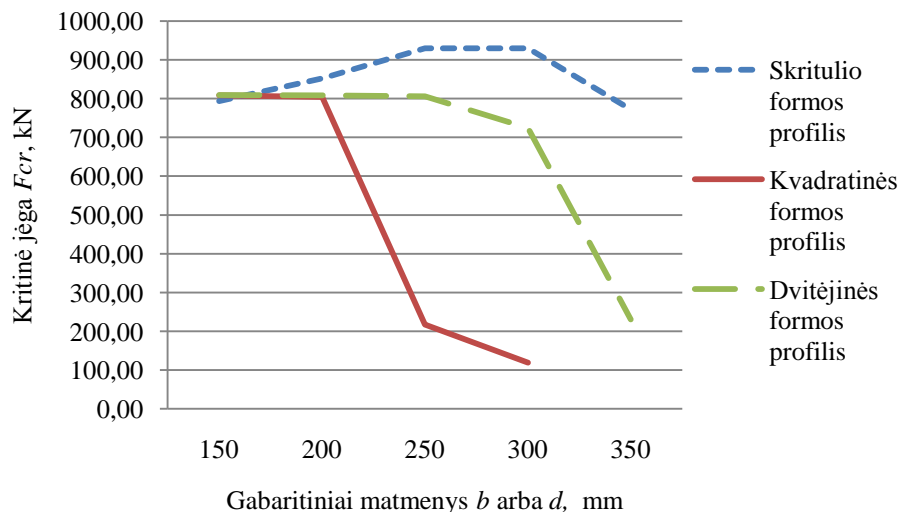
4.2 Keturių metrų ilgio kolonos atsparumo klūpdymui tyrimas

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 23 paveiksle. Didėjant sienelės storiui s , kritinė jėga didėja šių profilių, kvadratinės ir dvitėjinės formos, o tuščiavidurio skritulio formos profilio mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir išlaikant tokį pat skerspjūvio ploto inercijos momentą, būtina mažinti profilių gabaritinį matmenį, t. y. kolonos skerspjūvio plotą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės ir kvadratinės formos profilis. Didžiausias kritinės jėgos skirtumas yra kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 1,04 karto.



Pav. 23. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 24 pav. Didėjant profilių gabaritiniui matmeniui, kritinė jėga mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – kvadratinės formos profilis. Skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir kvadratinės formos profiliu yra 7,87 karto kai gabaritiniai matmuo yra lygus 300 mm.

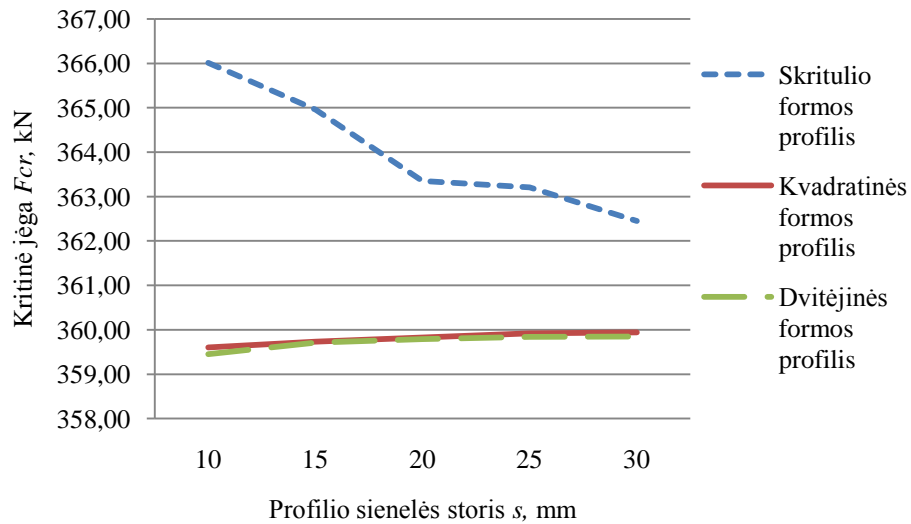


Pav. 24. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir antru atveju, kai profilių sienelių storiai ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis.

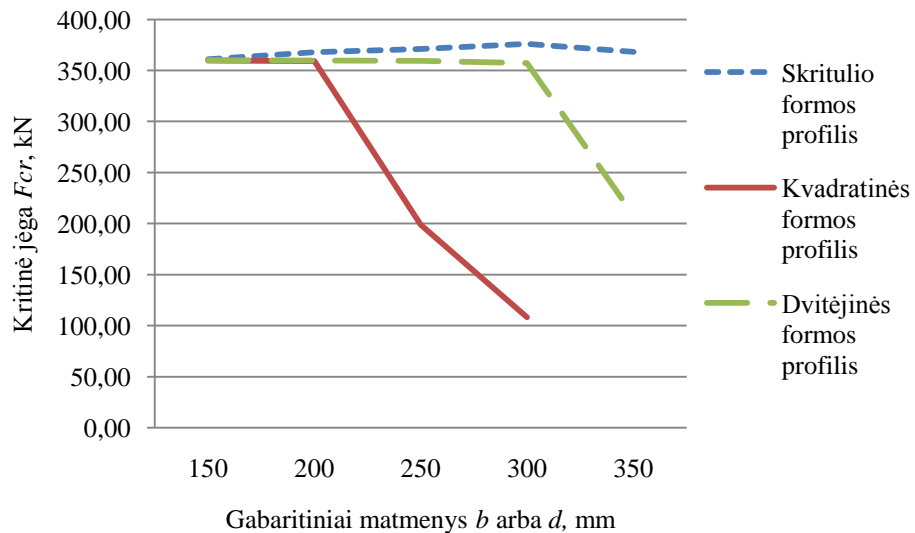
4.3 Šešių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ pateikta 25 paveiksle. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga didėja kvadratinės ir dvitėjinės formos profilių, o tuščiavidurio skritulio formos profilio mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės ir kvadratinės formos profilis. Didžiausias skirtumas kritinės jėgos yra kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 1,01 karto.



Pav. 25. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 26 pav. Didėjant profilių gabaritiniam matmeniui kritinė jėga mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – kvadratinės formos profilis. Didžiausias skirtumas kritinės jėgos yra kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir kvadratinės formos profiliu yra 3,47 karto kai gabaritinis matmuo yra lygus 300 mm.

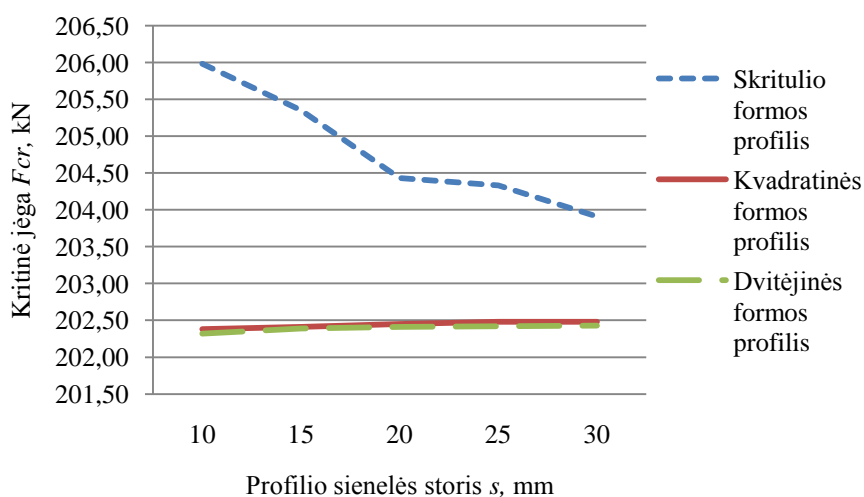


Pav. 26. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir antru atveju, kai profilių sienelių storiai ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis. Pirmu atveju, kai sienelių storiai vienodi mažiausią kritinę jėgą atlaiko dvitėjinės formos profilis. Antru atveju, kai gabaritiniai matmenys vienodi mažiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio kvadrato formos profilis.

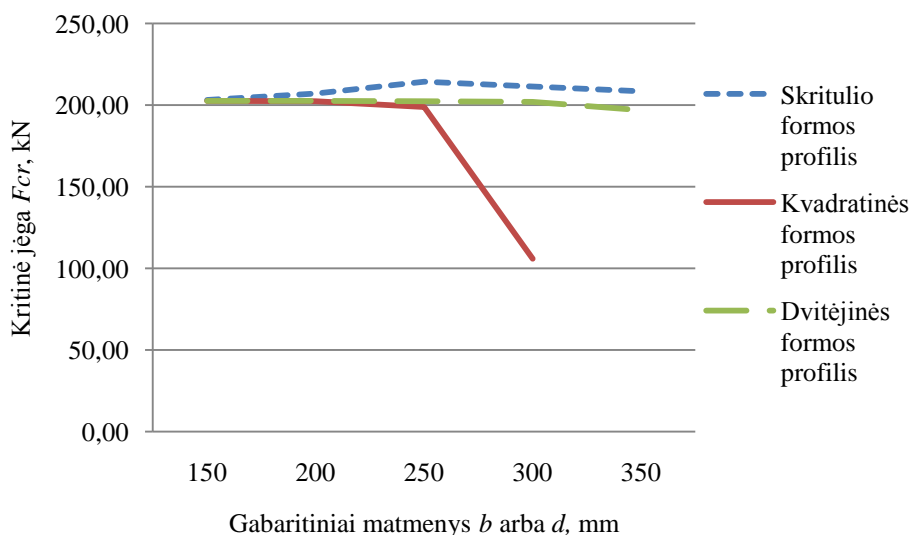
4.3 Aštuonių metrų ilgio kolonos atsparumo klūpdymui tyrimas

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 27 pav. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga didėja kvadratinės ir dvitėjinės formos profilių, o tuščiavidurio skritulio formos profilio mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės ir kvadratinės formos profilis. Didžiausias skirtumas kritinės jėgos yra kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 1,01 karto.



Pav. 27. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 28 pav. Didėjant profilių gabaritiniam matmeniui kritinė jėga mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – kvadratinės formos profilis. Pagal gautus duomenis skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir kvadratinės formos profiliu yra 2,01 karto kai gabaritinis matmuo yra lygus 300 mm.



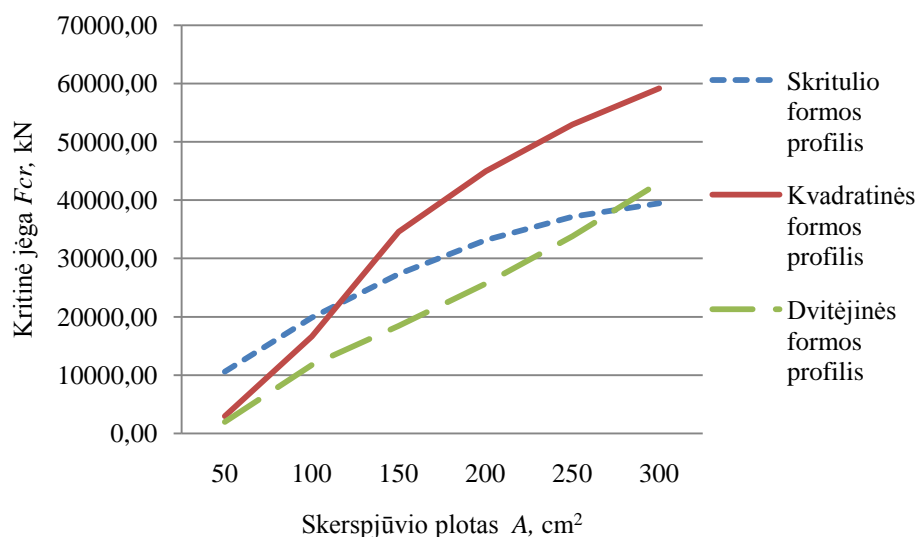
Pav. 28. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Iš atliktų tyrimų matyti, kad visais skirtingų ilgių kolonų atvejais, kai profilių sienelių storiai ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis.

5. KOLONŲ ATSPARUMO KLUPDYMOI TYRIMAS ANTRU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDUNAUDOJANT SKIRTINGUS GEOMETRINIUS PARAMETRUS

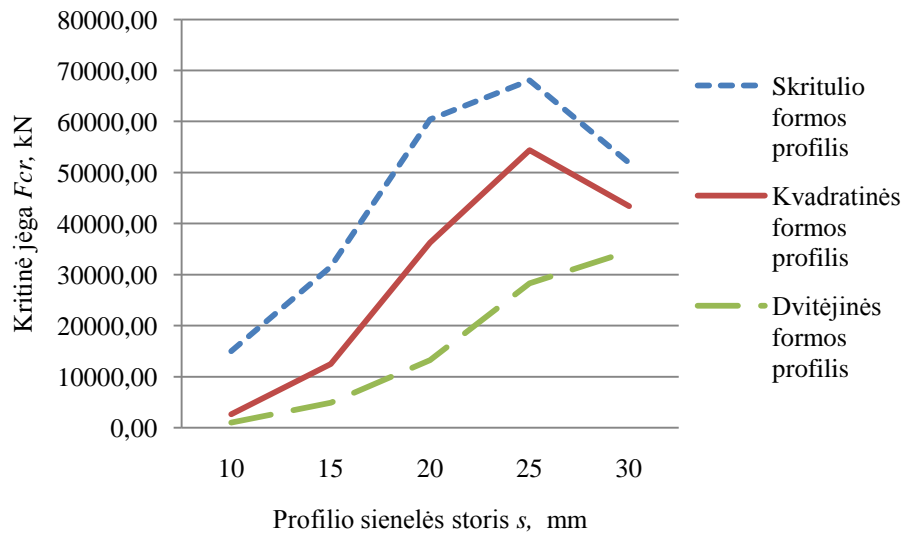
5.1 Dviejų metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas

Tiriama 2 metrų ilgio metalinė kolona, kaip kritinės jėgos vertė priklauso nuo skirtingų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra toks pat, pateikta 29 pav. Gauta, kad didėjant skerspjūvio plotui kritinė jėga didėja. Šiuo atveju didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią dvitėjinės formos profilis. Skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiaaviduriu kvadratinės formos profiliu ir skritulio formos profiliu yra 1,5 karto kai skerspjūvio plotas lygus 300 cm^2 .



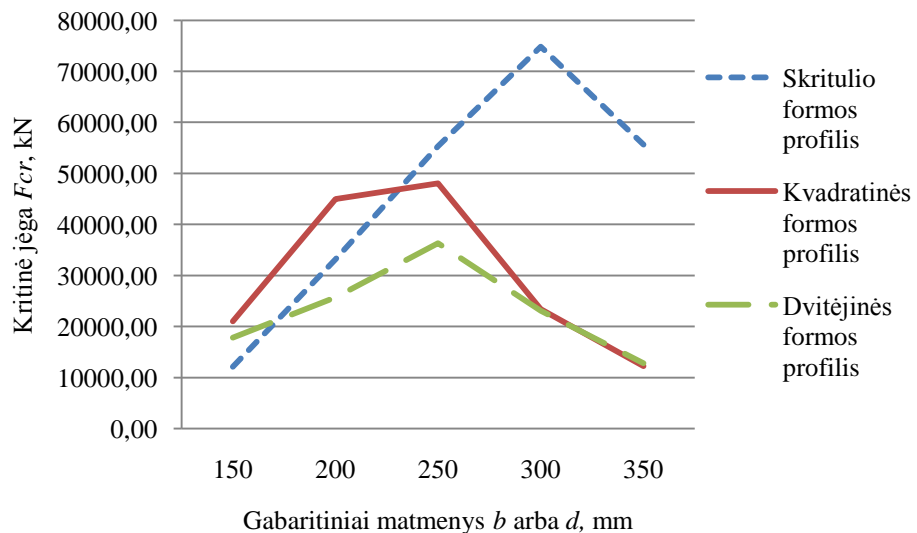
Pav. 29. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2 , pateikta 30 pav. Didėjant sienelės storiui nuo 10 mm iki 25 mm kritinė jėga didėja, tačiau nuo 25 mm iki 30 mm mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir norint išlaikyti tokį pat skerspjūvio plotą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. skerspjūvio inercijos momentą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Didžiausias skirtumas kritinės jėgos yra kolonai su tuščiaavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės nuo 14,73 iki 1,5 karto.



Pav. 30. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2 , pateikta 31 pav. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Šiuo atveju skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės yra 4,35 karto, kai gabaritins matmuo 300 mm.



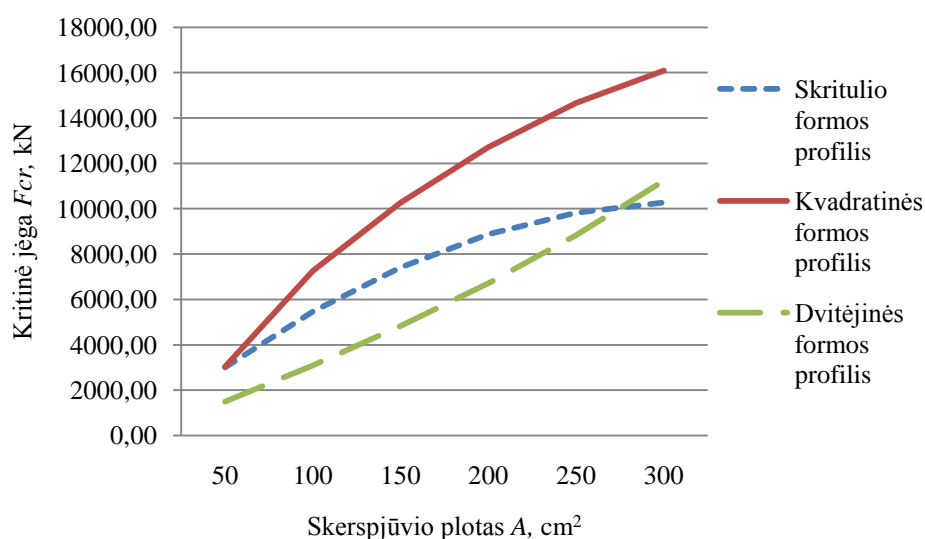
Pav. 31. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu atveju, kai profilių skerspjūvio plotas yra toks pats didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio kvadrato formos profilis. Tačiau antruoju atveju, kai

profilų sienelių storiai yra tokie pat, ir trečiu atveju, kai gabaritiniai matmenys yra tokie pat didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis.

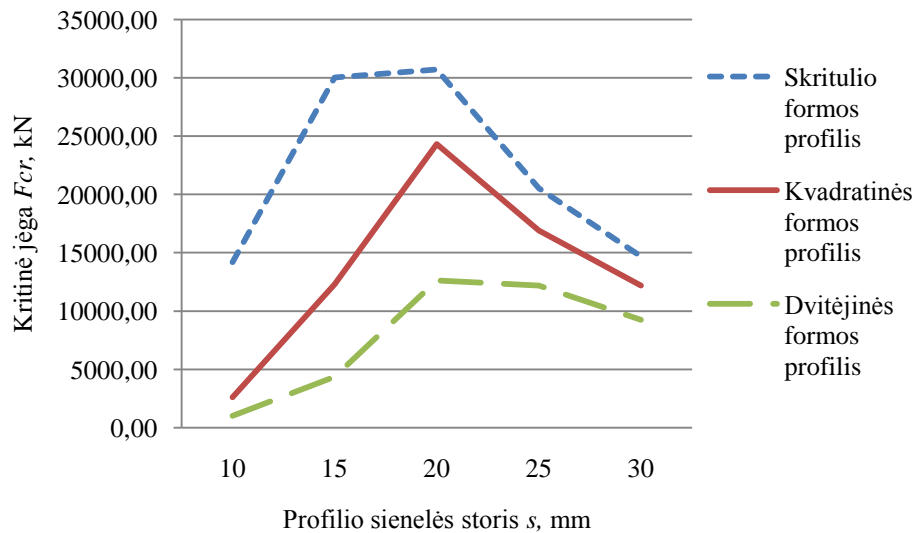
5.2 Keturių metrų ilgio kolonos atsparumo klūpdymui tyrimas

Kaip kritinės jėgos vertė priklauso nuo skirtingų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra toks pat, pateikta 32 pav. Gauta, kad didėjant skerspjūvio plotui kritinė jėga didėja. Šiuo atveju didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Didžiausias kritinės jėgos skirtumas kolonai su tuščiaviduriu kvadratinės formos profiliu ir dvitėjinės nuo 2,03 iki 1,43 karto.



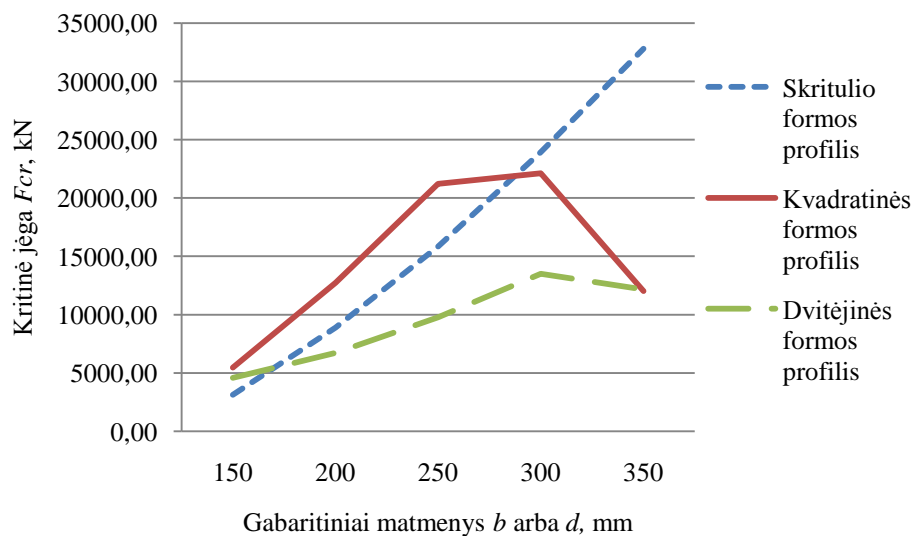
Pav. 32. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2 , pateikta 33 pav. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga sparčiai mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir norint išlaikyti tokį pat skerspjūvio plotą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. skerspjūvio inercijos momentą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Pagal gautus duomenis didžiausias skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra nuo 14,77 iki 1,58 karto.



Pav. 33. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2 , pateikta 34 pav. Didėjant profilių gabaritiniui matmeniui kritinė jėga didėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Didžiausias skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiaavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 2,69 karto. Mažiausias skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiaavidurio kvadrato formos profiliu ir skritulio formos profiliu yra 1,74 karto.

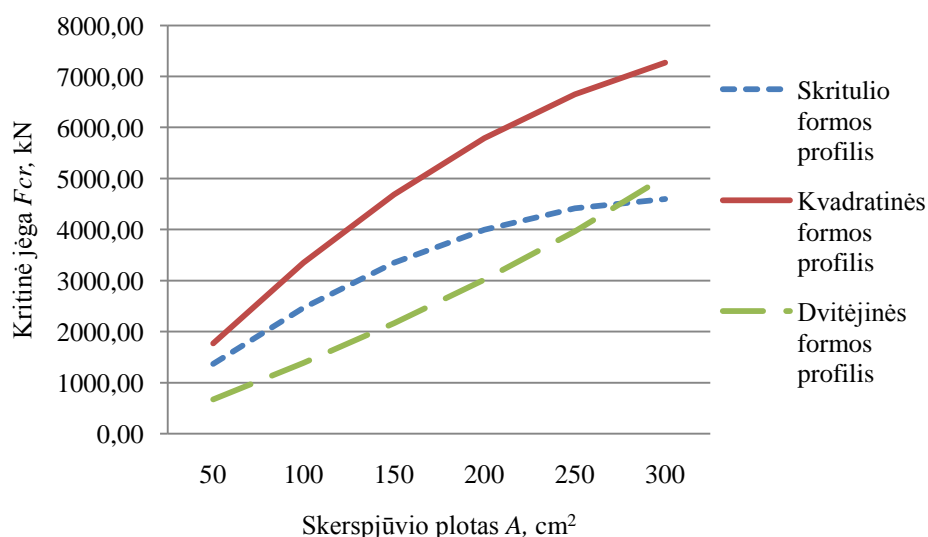


Pav. 34.26 Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Iš atliktų tyrimų matyti, kad antru ir trečiu atveju, kai profilių sienelių storiai ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulioformos profilis. Tačiau pirmu atveju, kai profilių skerspjūvio plotasyra toks pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko kvadratinės formos profilis.

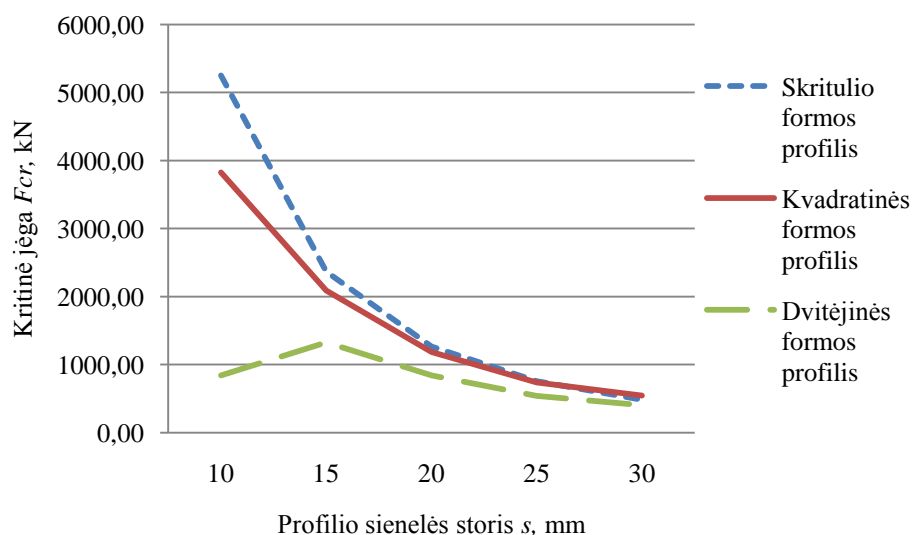
5.3 Šešių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui

Kaip kritinės jėgos vertė priklauso nuo skirtingų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra toks pat, pateikta 35 pav. Gauta, kad didėjant skerspjūvio plotui kritinė jėga didėja. Šiuo atveju didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Skirtumas tarp kritinės jėgos kolonai su tuščiaviduriu kvadratinės formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra nuo 2,64 iki 1,44 karto. Šiuo atveju gauti rezultatai panašūs į 2 m ir 4 m, kolonų.



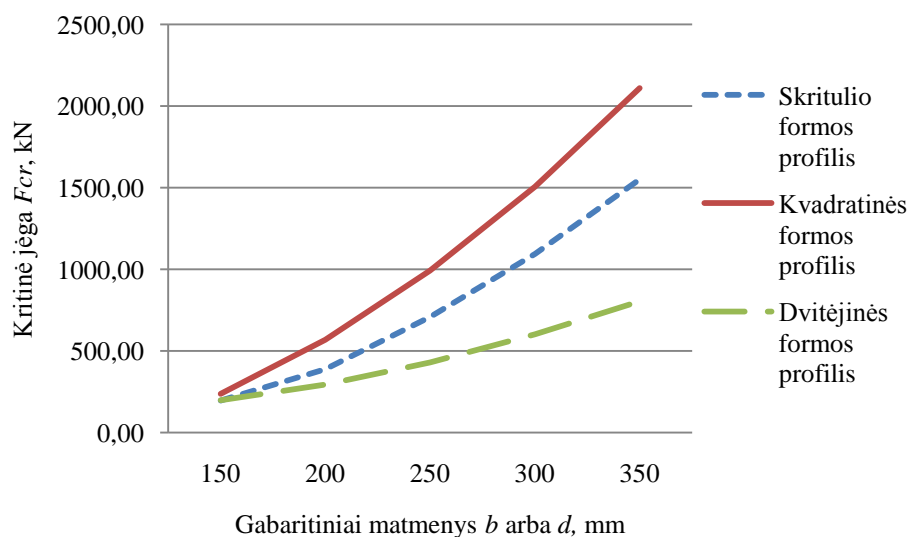
Pav. 35. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm², pateikta 36 pav. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga sparčiai mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir norint išlaikyti tokį pat skerspjūvio plotą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. skerspjūvio inercijos momentą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Pagal šiuos duomenis skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės yra 6,23 karto.



Pav. 36. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2 , pateikta 37 pav. Didėjant profilių gabaritiniam matmeniui kritinė jėga didėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią dvitėjinės formos profilis. Didžiausias skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio kvadrato formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra 2,62 karto.



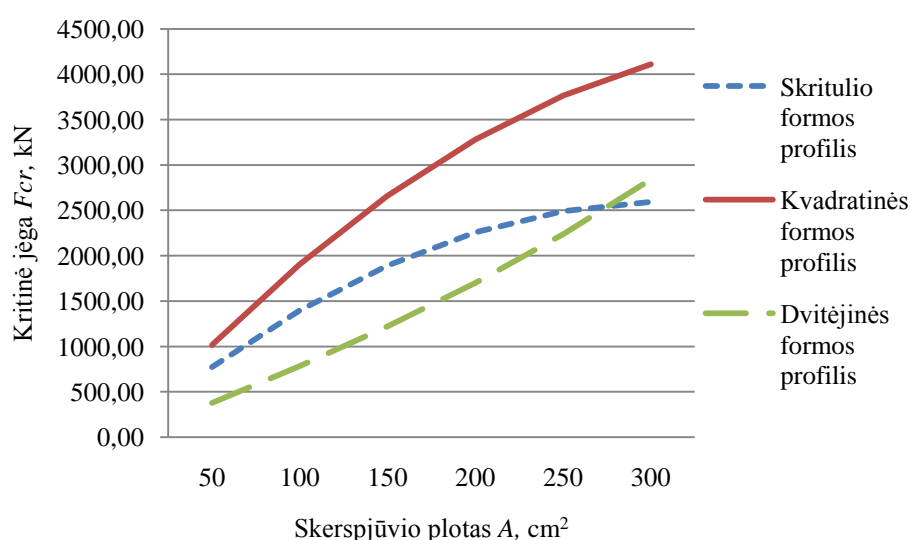
Pav. 37. 27 Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir trečiu atveju, kai profilių skerspjūvio plotas ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio kvadrato formos

profilis. Tačiau antru atveju, kai profilių sienelių storai yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko skritulio formos profilis.

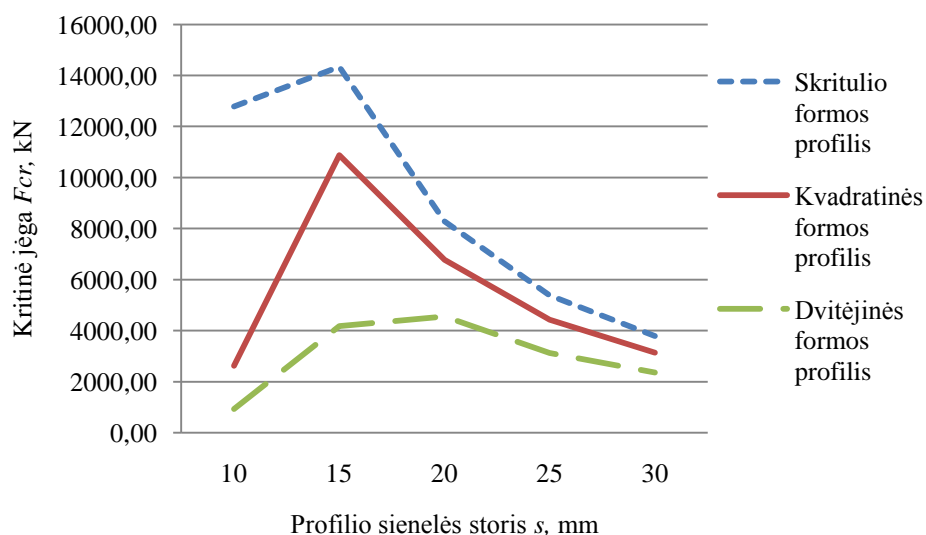
5.4 Aštuonių metrų ilgio kolonos atsparumo klūpdymui tyrimas

Kaip kritinės jėgos vertė priklauso nuo skirtingų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra toks pat, pateikta 38 pav. Gauta, kad didėjant skerspjūvio plotui kritinė jėga didėja. Šiuo atveju didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Skirtumas tarp kritinės jėgos kolonai su tuščiaviduriu kvadratinės formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra nuo 2,69 iki 1,44 karto.



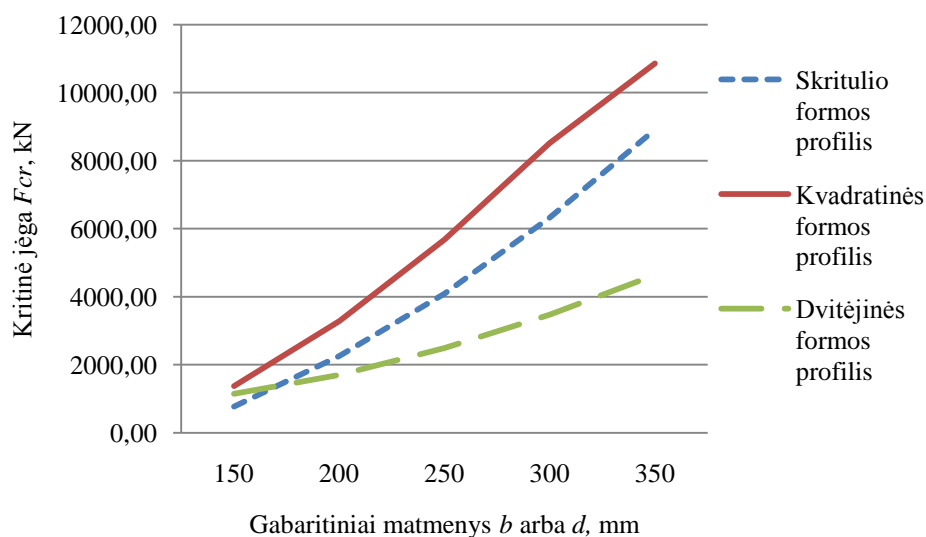
Pav. 38. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių skerspjūvio ploto, kai visų profilių gabaritinis matmuo yra 200 mm

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm², pateikta 39 pav. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga sparčiai mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Kai visų kolonų ilgiai aštuoni metrai, tai skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra nuo 13,79 iki 1,60 karto.



Pav. 39. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų formų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2 , pateikta 40 pav. Didėjant profilių gabaritiniam matmeniui kritinė jėga didėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris kvadratinės formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės formos profilis. Pagal gautus tyrimo rezultatus skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio kvadrato formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra nuo 1,19 iki 2,34 karto.



Pav. 40. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio plotas yra 200 cm^2

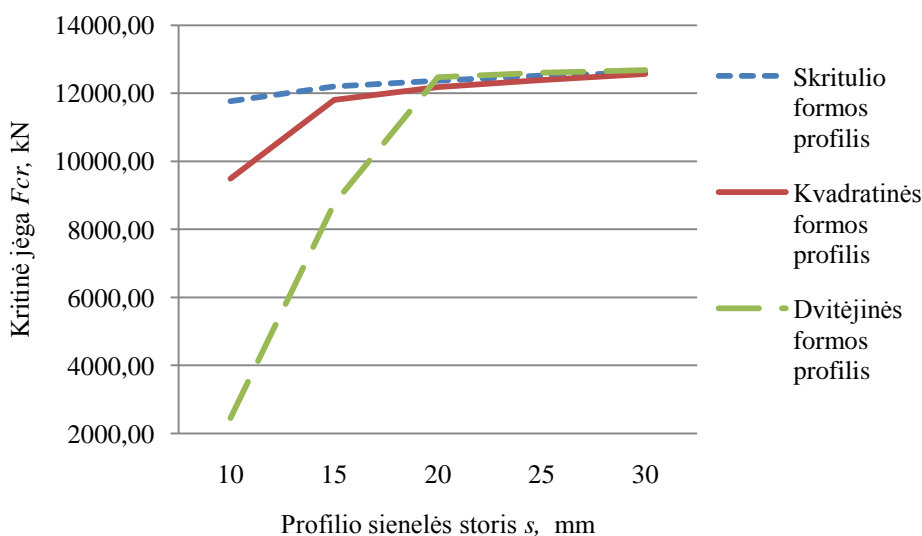
Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir trečiu atveju, kai profilių skerspjūvio plotas ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio kvadrato

formos profilis. Tačiau antruoju atveju, kai profilių sienelių storiai yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko skritulio formos profilis.

6. KOLONŲ ATSPARUMO KLUPDYMUI TYRIMAS ANTRU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU, NAUDOJANT SKIRTINGUS GEOMETRINIUS PARAMETRUS, KAI KOLONŲ SKERPJŪVIO PLOTO INERCIJOS MOMENTAS VIENODAS VISIEMS NAUDOJAMIEMS KOLONŲ PROFILIAMS

6.1 Dviejų metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas

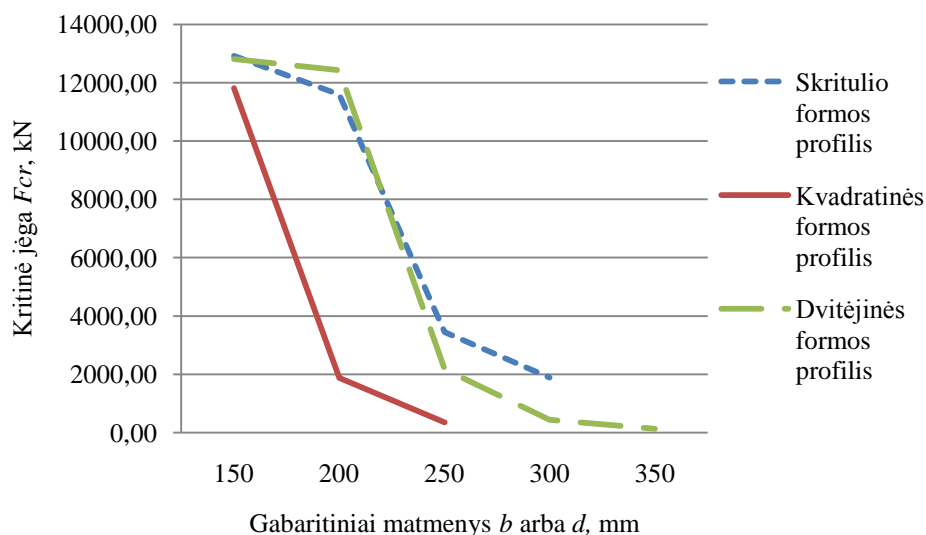
Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio pločio inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 41 pav. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga didėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir išlaikant tokį pat skerspjūvio pločio inercijos momentą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. kolonos skerspjūvio plotą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko dvitėjinės formos profilis, o mažiausią – skritulio formos profilis. Kritinės jėgos skirtumas kolonai su dvitėjinės formos profiliu ir skritulio formos profiliu yra 1,006 karto. Didžiausias skirtumas kritinės jėgos tarp tuščiavidurio skritulio formos profilio ir dvitėjinės formos profilio yra 4,79 karto, kai sienelės storis 10 mm.



Pav. 281. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio pločio inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinių matmens, kai visų profilių skerspjūvio pločio inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 42 pav. Didėjant profilių gabaritiniui matmeniui kritinė jėga mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko dvitėjinės formos profilis, o mažiausią kvadratinės formos profilis, jų skirtumas yra 6,62 karto, kai gabaritinis

matmuo yra 200 mm. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus gabaritinius matmenis ir išlaikant tokį pat skerspjūvio ploto inercijos momentą, būtina mažinti profilių sienelių storius, t. y. kolonos skerspjūvio plotą.

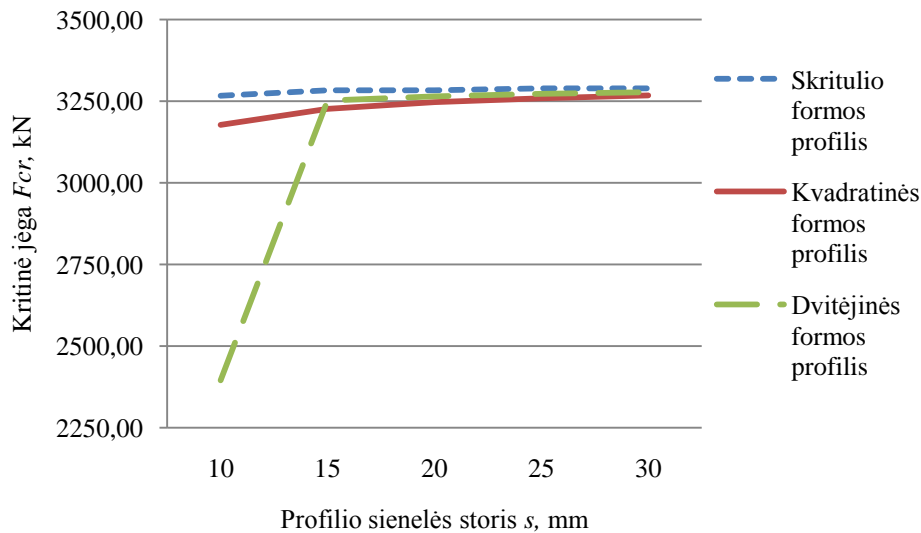


Pav. 292. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir antru atveju, kai profilių sienelių storiai ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis ir dvitėjinės formos profilis.

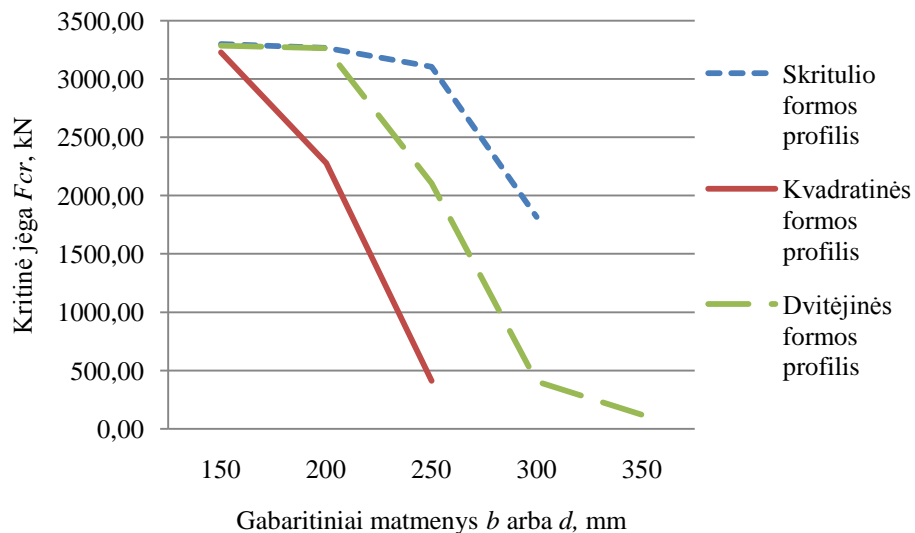
6.2 Keturių metrų ilgio kolonos atsparumo klūpdymui

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 43 pav. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga didėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią dvitėjinės formos profilis, jų skirtumas kritinės jėgos yra 1,36 karto.



Pav. 303. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 44 pav. Didėjant profilių gabaritiniui matmeniui kritinė jėga mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – kvadratinės formos profilis. Kai gabaritinis matmuo lygus 250 mm tai skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir kvadratinės formos profiliu yra 7,57 karto.

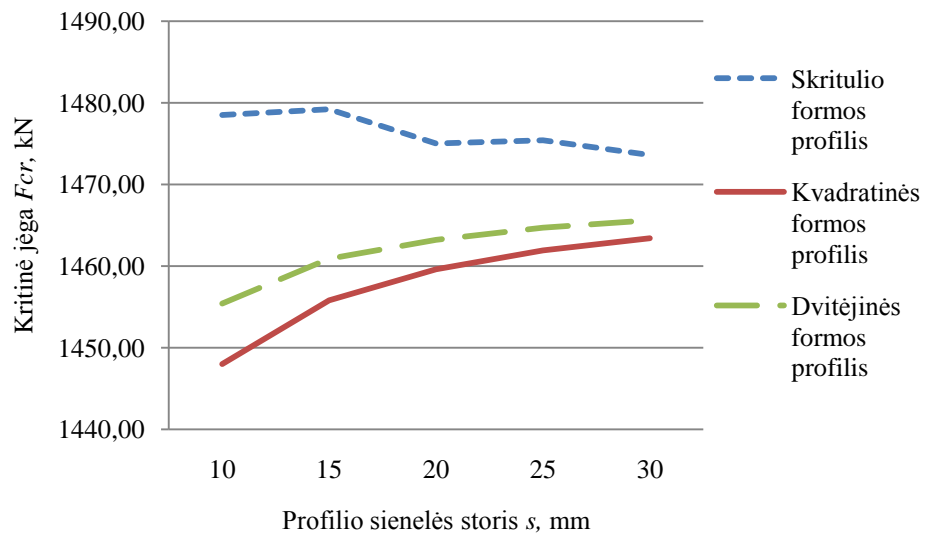


Pav. 314. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir antru atveju, kai profilių sienelių storiai ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis. Mažiausią tuščiavidurio kvadrato formos profilis.

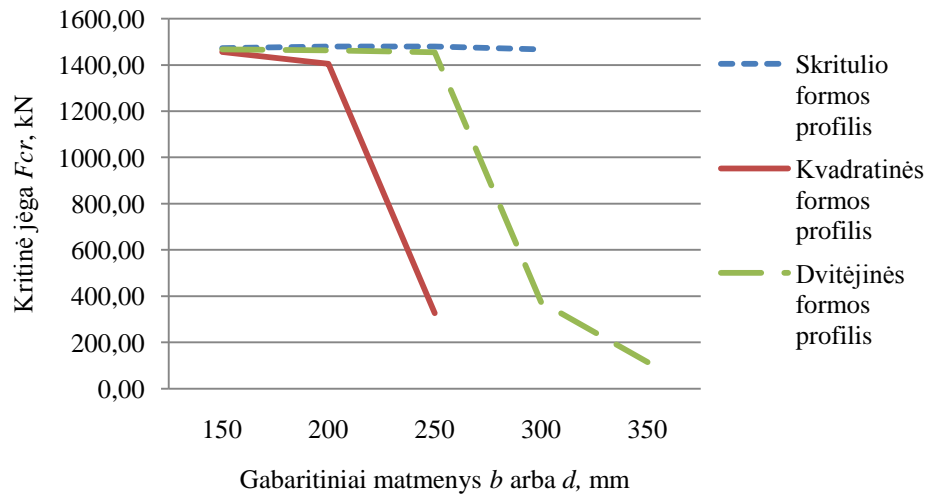
6.3 Šešių metrų ilgio kolonos atsparumo klūpdymui tyrimas

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 45 pav. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga nedaug didėja kvadratinės ir dvitėjinės formos profilių, o tuščiavidurio skritulio formos profilio mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir išlaikant tokį pat skerspjūvio ploto inercijos momentą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. kolonos skerspjūvio plotą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – dvitėjinės ir kvadratinės formos profilis. Didžiausias skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir kvadratinės formos profiliu yra 1,02 karto.



Pav. 32. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 46 pav. Didėjant profilių gabaritiniui matmeniui kritinė jėga mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią kvadratinės formos profilis, jų skirtumas kritinės jėgos yra 4,53 karto, kai gabaritinis matmuo yra lygus 250 mm.

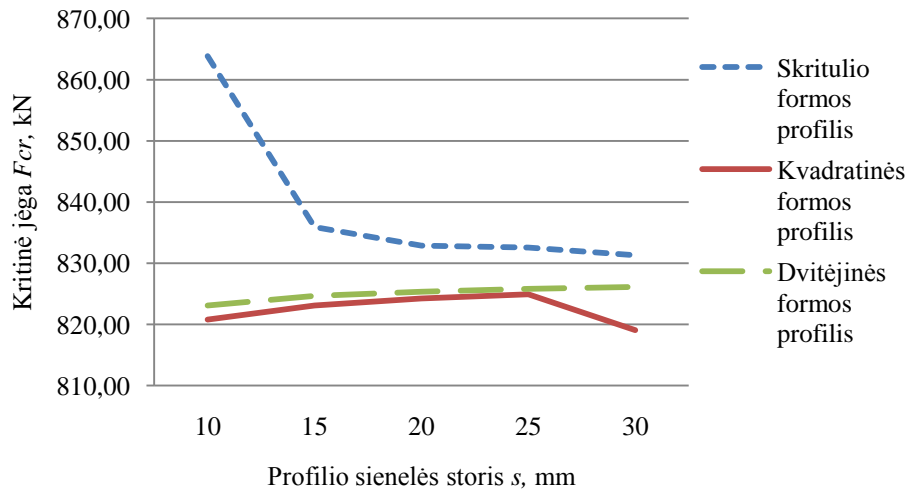


Pav .33. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio pločio inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir antru atveju, kai profilių sienelių storiai ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis. Mažiausią tuščiavidurio kvadrato formos profilis. Gauti rezultatai panašūs į keturių metrų ilgio kolonų atsparumo klupdymui tyrimą, naudojant skirtingus geometrinius parametrus, kai vienodas kolonų profilių skerspjūvio pločio inercijos momentas.

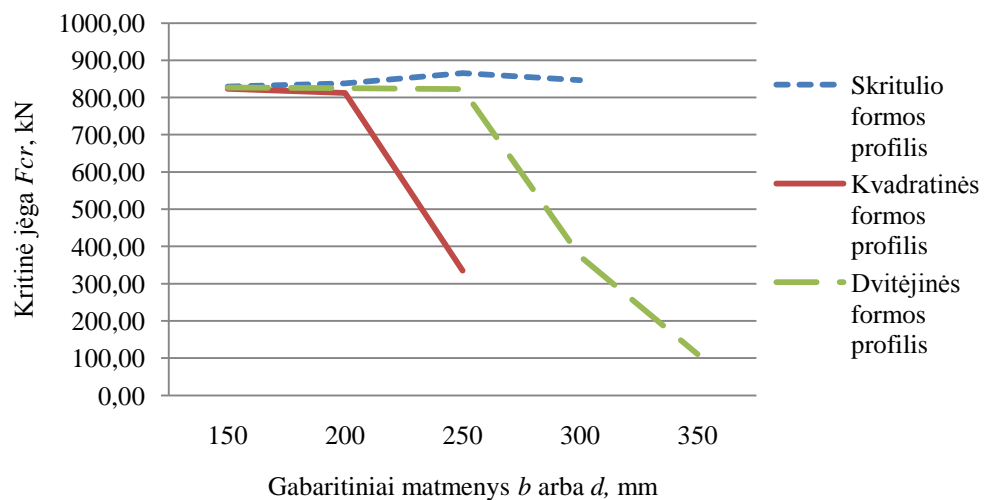
6.4 Aštuonių metrų ilgio kolonos atsparumo klupdymui tyrimas

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelių storio, kai visų profilių skerspjūvio pločio inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 47 pav. Didėjant sienelės storiui kritinė jėga nedaug didėja dvitėjinės formos profilio, o tuščiavidurio skritulio ir kvadrato formos profilio mažėja. Tai galima paaiškinti tuo, kad padidinus sienelės storį ir išlaikant tokį pat skerspjūvio pločio inercijos momentą, būtina mažinti profilių gabaritinius matmenis, t. y. kolonos skerspjūvio plotą. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią dvitėjinės ir kvadratinės formos profilis. Pagal gautus tyrimo rezultatus skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir kvadratinės formos profiliu yra 1,05 karto.



Pav. 34. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių sienelės storio, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

Kritinės jėgos dydžio priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, pateikta 48 pav. Didėjant profilių gabaritiniui matmeniui kritinė jėga mažėja. Gauta, kad didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaviduris skritulio formos profilis, o mažiausią – kvadratinės formos profilis. Šiuo atveju skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir kvadratinės formos profiliu yra 2,58 karto kai gabaritinis matmuo yra lygus 250 mm.



Pav. 35. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų profilių gabaritinio matmens, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas yra $I=2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

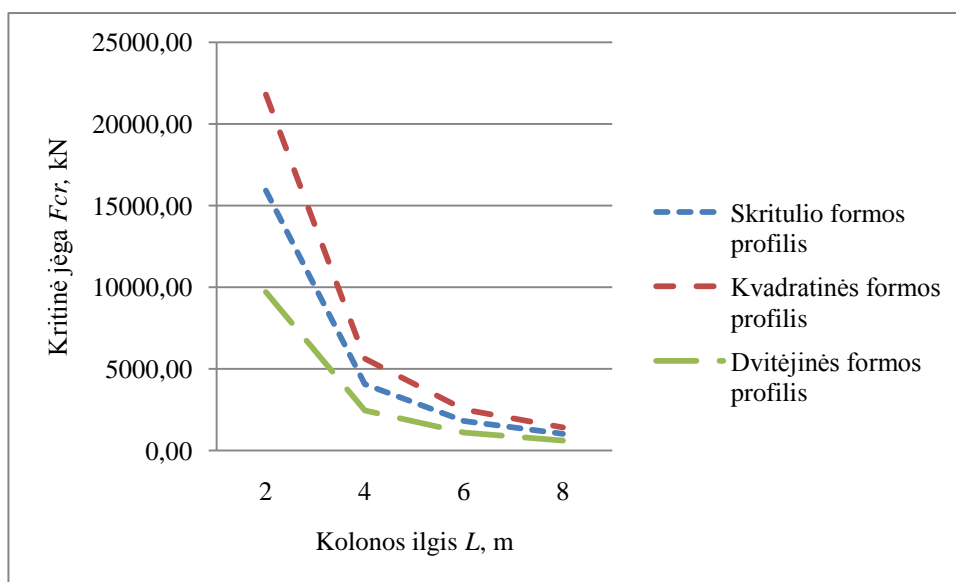
Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu ir antru atveju, kai profilių sienelių storiai ir gabaritiniai matmenys yra tokie pat, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis. Mažiausią tuščiavidurio kvadrato formos profilis. Gauti rezultatai panašūs į keturių ir šešių metrų ilgio kolonų atsparumo klupdymui tyrimą, naudojant skirtingus geometrinius parametrus, kai vienodas kolonų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas.

7. KOLONŲ KRITINĖS JĖGOS PRIKLAUSOMYBĖ NUO SKIRTINGŲ KOLONŲ ILGIŲ, PIRMU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU

7.1 Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, naudojant skirtingus geometrinius parametrus

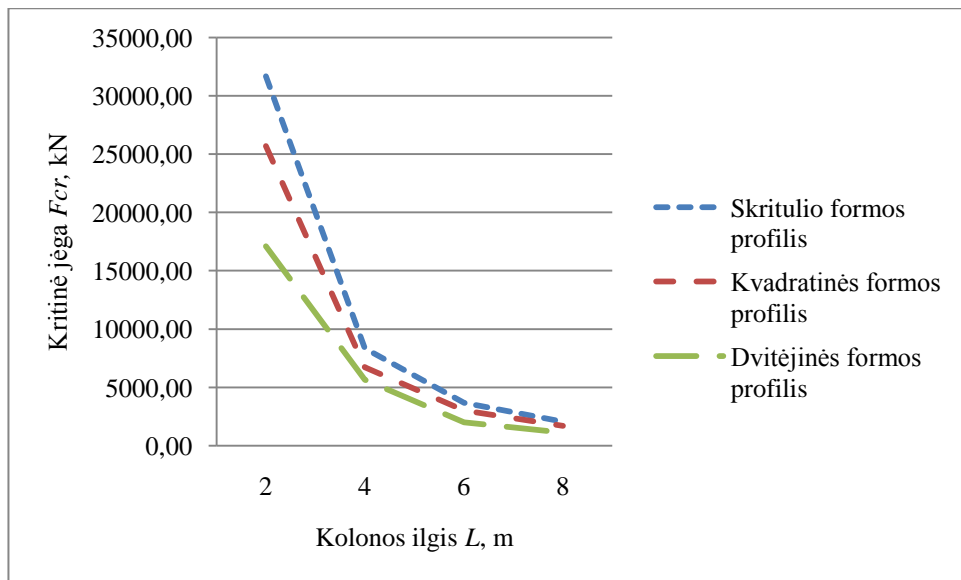
Kolonų kurių ilgis 2, 4, 6 ir 8 metrai kritinės jėgos priklausomybė, kai vienas kolonos galas įtvirtintas standžiai (gembiška), kitas - laisvas (žr. pav. 2.1). Naudojant skaičiavimui šiuos parametrus :

a) Kolonos kritinės jėgos priklausomybė, kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , gabaritinis kolonos matmuo b arba d 250 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai pateikta pav. 49. Gauta, kad didėjant kolonos ilgiu kritinė jėga mažėja. Šiuo atveju didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaavidurio kvadrato formos profilis. Mažiausią kritinę jėgą atlaiko dvitėjinės formos profilis. Šių profilių skirtumas kritinės jėgos yra nuo 2,24 iki 2,31 karto.



Pav. 36. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 ir gabaritinis b arba d matmuo 250 mm.

b) Kolonos kritinės jėgos priklausomybė, kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , kolonos sienelės storis s 20 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai pateikta pav. 50. Gauta, kad didėjant kolonos ilgiu kritinė jėga mažėja. Šiuo atveju didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiaavidurio skritulio formos profilis. Mažiausią kritinę jėgą atlaiko dvitėjinės formos profilis. Šių kolonų profilių skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiaavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra nuo 1,85 iki 1,84 karto.

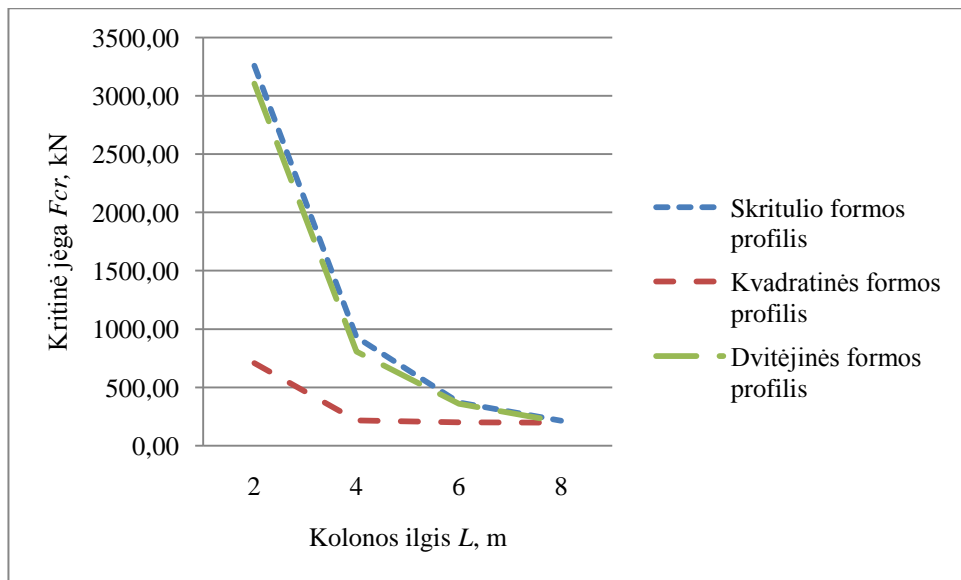


Pav. 50. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 ir kolonos sienelės storis s 20 mm.

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu atveju (a), kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , gabaritinis kolonos matmuo b arba d 250 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio kvadrato formos profilis, o mažiausią - dvitėjinės formos profilis. Tačiau antruoju atveju (b), kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , kolonos sienelės storis s 20 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai, didžiausią kritinę jėgą atlaiko skritulio formos profilis, o mažiausią - dvitėjinės formos profilis. Pirmu (a) ir antru (b) atveju kritinė jėga mažėja didėjant kolonos ilgiui.

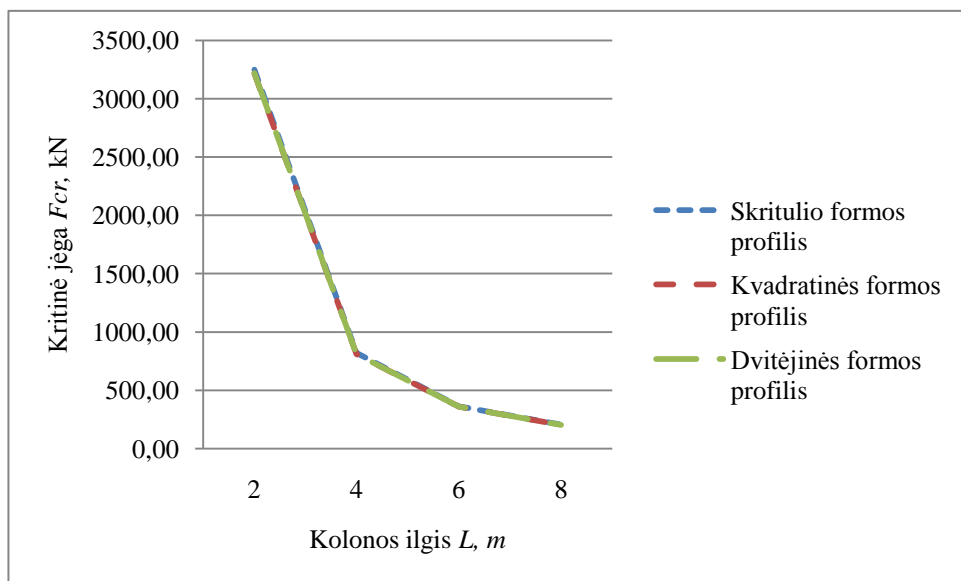
7.2 Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, naudojant skirtingus geometrinius parametrus, kai vienodas kolonų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas

a) Kolonos kritinės jėgos priklausomybė, kai skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, gabaritinis kolonos matmuo b arba d 250 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai pateikta pav. 51. Gauta, kad didėjant kolonos ilgiui kritinė jėga mažėja. Didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis, o mažiausią tuščiavidurio kvadrato. Didžiausias skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir tuščiavidurio kvadrato formos profiliu 4,6 karto, kai kolonų ilgis du metrai.



Pav. 37. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ ir gabaritinis b arba d matmuo 250 mm.

b) Kolonos kritinės jėgos priklausomybė, kai skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, kolonos sienelės storis s 20 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai pateikta pav. 52. Gauta, kad didėjant kolonos ilgiu kritinė jėga mažėja. Šiuo atveju visų profilių tipų skirtumas kritinės jėgos labai mažas.



Pav. 38. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ ir kolonos sienelės storis s 20 mm.

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu atveju (a), kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , gabaritinis kolonos matmuo b arba d 250 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai, didžiausią kritinę jėga atlaiko tuščiaavidurio skritulio formos profilis, o mažiausią - tuščiaavidurio kvadrato formos profilis. Tačiau antruoju atveju (b), kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , kolonos sienelės storis s

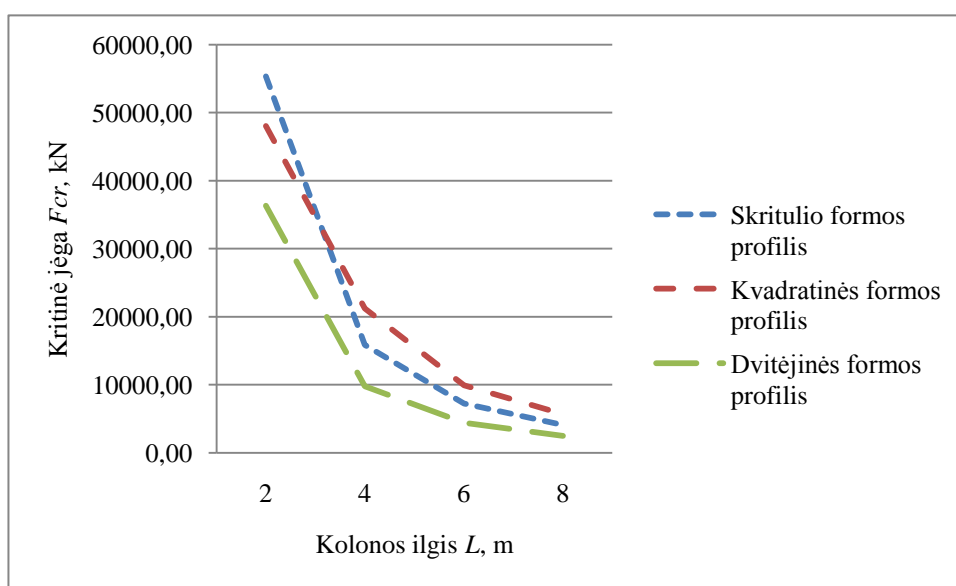
20 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai, visų formų profilių kritinės jėgos skirtumas labai mažas. Šiuo atveju galima laikyti, kad visų profilių formų kritinės jėgos atsparumas vienodas, kai kolonų ilgiai 2, 4, 6, ir 8 metrai. Pirmu (a) ir antru (b) atveju kritinė jėga mažėja didėjant kolonos ilgiui.

8. KOLONŲ KRITINĖS JĖGOS PRIKLAUSOMYBĖ NUO SKIRTINGŲ KOLONŲ ILGIŲ, ANTRU KOLONOS ĮTVIRTINIMO BŪDU

8.1 Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, naudojant skirtingus geometrinius parametrus

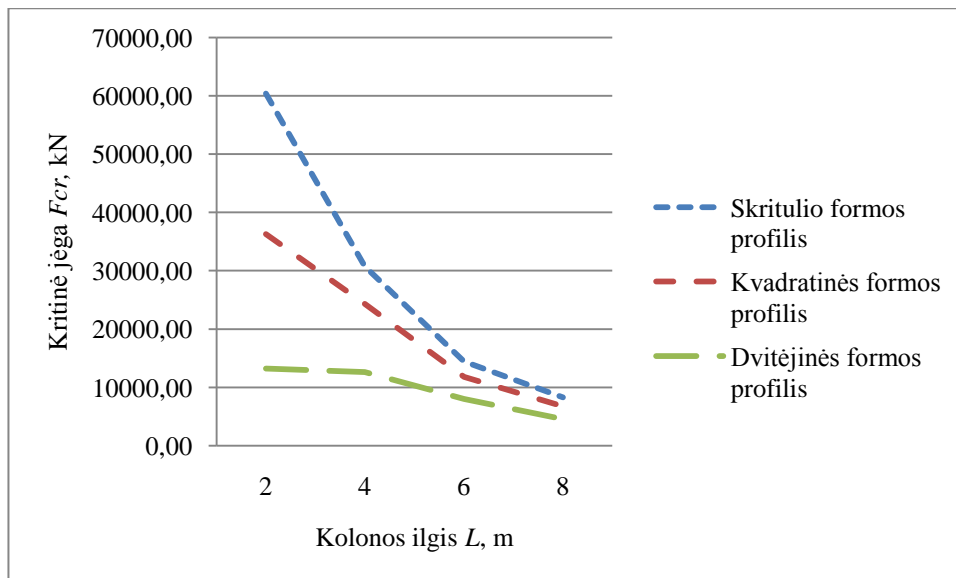
Kolonų kurių ilgis 2, 4, 6 ir 8 metrai kritinės jėgos priklausomybė, kai vienas kolonos galas įtvirtintas standžiai (gemiškai), kitas - gali pasisukti (šarnyriškai) (žr. pav. 2.1). Naudojant skaičiavimui šiuos parametrus :

a) Kolonos kritinės jėgos priklausomybė, kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , gabaritinis kolonos matmuo b arba d 250 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai pateikta pav. 53. Gauta, kad didėjant kolonos ilgiui kritinė jėga mažėja. Didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis, kai kolonos ilgis 2 metrai, o kai kolonos ilgis 8 metrai - tuščiavidurio kvadrato. Mažiausią kritinę jėgą atlaiko dvitėjinės formos profilis.



Pav. 39. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 ir gabaritinis b arba d matmuo 250 mm.

b) Kolonos kritinės jėgos priklausomybė, kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , kolonos sienelės storis s 20 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai pateikta pav. 54. Gauta, kad didėjant kolonos ilgiui kritinė jėga mažėja. Šiuo atveju didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis. Mažiausią kritinę jėgą atlaiko dvitėjinės formos profilis. Pagal gautus tyrimo rezultatus skirtumas kritinės jėgos kolonai su tuščiavidurio skritulio formos profiliu ir dvitėjinės formos profiliu yra nuo 4,55 iki 1,82 karto.

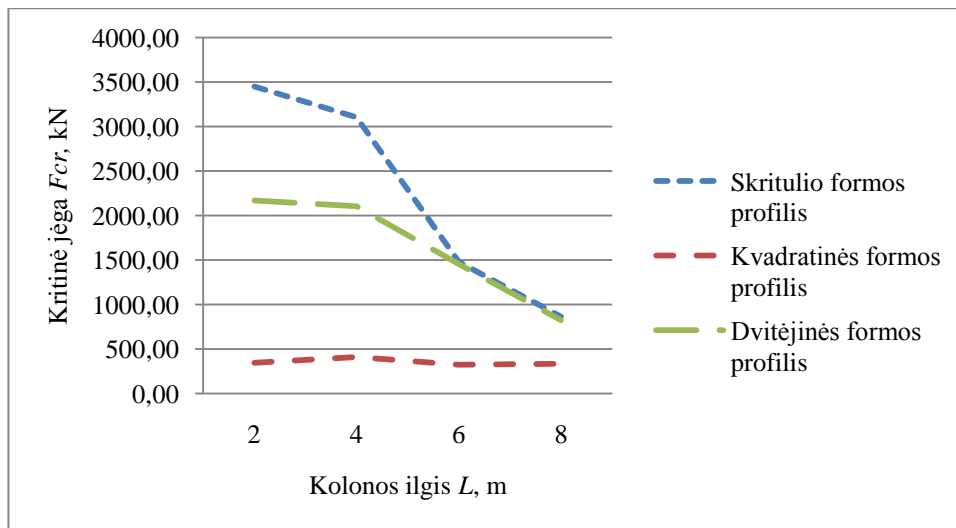


Pav. 54. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 ir kolonos sienelės storis s 20 mm.

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu atveju (a), kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , gabaritinis kolonos matmuo b arba d 250 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai, didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio ir tuščiavidurio kvadrato formos profilis, o mažiausią - tuščiavidurio dvitėjinės formos profilis. Tačiau antruoju atveju (b), kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , kolonos sienelės storis s 20 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai, didžiausią kritinę jėgą atlaiko skritulio formos profilis, o mažiausią - dvitėjinės formos profilis. Pirmu (a) ir antru (b) atveju kritinė jėga mažėja didėjant kolonos ilgiui.

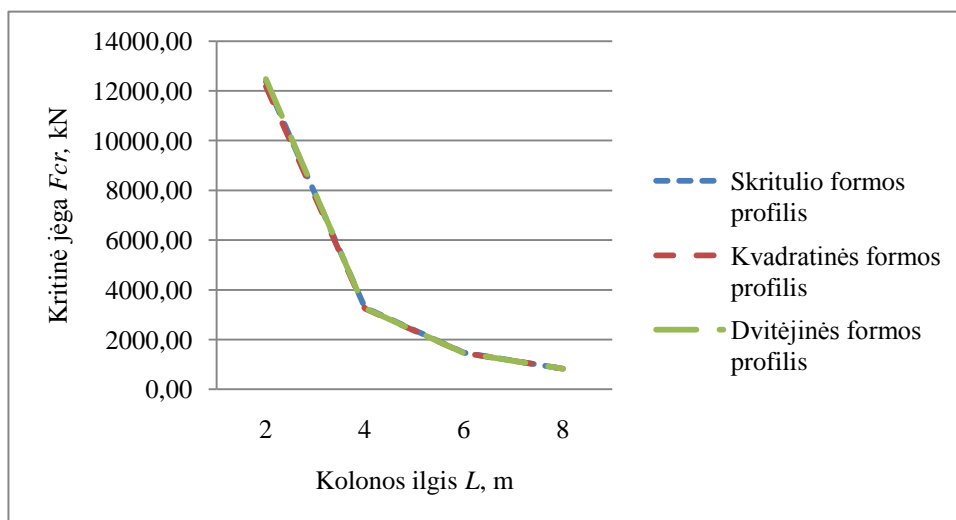
8.2 Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, naudojant skirtingus geometrinius parametrus, kai vienodas kolonų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas

a) Kolonos kritinės jėgos priklausomybė, kai skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, gabaritinis kolonos matmuo b arba d 250 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai pateikta pav. 55. Gauta, kad didėjant kolonos ilgiu kritinė jėga mažėja. Šiuo atveju didžiausią kritinę jėgą atlaiko tuščiavidurio skritulio formos profilis. Mažiausią kritinę jėgą atlaiko kvadratinės formos profilis. Šių kolonų profilių skirtumas kritinės jėgos yra nuo 9,93 iki 2,58 karto.



Pav. 40. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ ir gabaritinis b arba d matmuo 250 mm.

b) Kolonos kritinės jėgos priklausomybė, kai skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$, kolonos sienelės storis s 20 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai pateikta pav. 56 Gauta, kad didėjant kolonos ilgiui kritinė jėga mažėja.



Pav. 56. Kritinės jėgos priklausomybė nuo skirtingų kolonų ilgių, kai visų profilių skerspjūvio ploto inercijos momentas I lygus $2,5 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$ ir kolonos sienelės storis s 20 mm.

Iš atliktų tyrimų matyti, kad pirmu atveju (a), kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , gabaritinis kolonos matmuo b arba d 250 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai, didžiausią kritinę jėga atlaiko tuščiaavidurio skritulio formos profilis, o mažiausią tuščiaavidurio kvadrato formos profilis. Tačiau antruoju atveju (b), kai skerspjūvio plotas A lygus 200 cm^2 , kolonos sienelės storis s 20 mm, kolonų ilgiai 2, 4, 6 ir 8 metrai, visų formų profilių kritinės jėgos skirtumas mažas. Šiuo atveju galima laikyti, kad visų profilių formų kritinės jėgos atsparumas vienodas, kai kolonų ilgiai 2, 4, 6, ir 8 metrai. Pirmu (a) ir antru (b) atveju kritinė jėga mažėja didėjant kolonos ilgiui.

IŠVADOS

1. Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad pirmu įtvirtinimo būdu, kai kolonos apačia įtvirtinta standžiai (gembiskai), o viršus laisvas ir antru, kai kolonos apačia įtvirtinta standžiai (gembiskai), o viršus gali pasisukti (šarnyriškai) gaunama abiemis įtvirtinimo būdams tinkančias išvadas. Jeigu kolonų profilių skerspjūvio plotas vienodas, tai ir medžiagos kolonos gamybai sunaudojama vienodai. Todėl gamybos kaštai kiekvienu atveju bus vienodi.

2. Kai klupdomos kolonos skerspjūvio forma yra tuščiaaviduris skritulys, tuščiaaviduris kvadratas ar dvitėjinis, ir visų jų skerspjūvio plotas ir gabaritinis matmuo yra tokie pat, tai didžiausiu atsparumu kritinei jėgai pasižymi kolona su tuščiaavidurio kvadrato profiliu, o mažiausiu dvitėjiniu profiliu kolona.

3. Kai klupdomos kolonos skerspjūvio formos profilis yra tuščiaaviduris skritulys, tuščiaaviduris kvadratas ar dvitėjinis ir jų skerspjūvio plotas lygus 200 cm^2 o sienelės storis keičiamas 10,15,20,25, 30 mm, tai didžiausiu atsparumu kritinei jėgai pasižymi kolona tuščiaavidurio skritulio profiliu, o mažiausiu kolona su dvitėjiniu profiliu.

4. Iš trijų profilio formų tuščiaavidurio skritulio, tuščiaavidurio kvadrato ir dvitėjinio, kai visų profilių skerspjūvio plotai, sienelės storiai ir gabaritiniai matmenys yra vienodi, mažiausiai atspari kritinei jėgai kolona, kurios skerspjūvio forma yra dvitėjinė.

5. Kai klupdomos kolonos skerspjūvio forma yra tuščiaaviduris skritulys, tuščiaaviduris kvadratas ar dvitėjinis, ir visų jų skerspjūvio ploto inercijos momentas vienodas, profilio sienelės storis ir profilio gabaritiniai matmenys vienodi, tai didžiausiu atsparumu kritinei jėgai pasižymi kolona su tuščiaavidurio skritulio profiliu.

6. Parenkant kolonų skerspjūvio formas pagal geometrinius parametrus tai yra pagal profilio skerspjūvio plotą, profilio sienelės storį ir profilio gabaritinius matmenis, galima teikti, kad didžiausią atsparumą kritinei jėgai turi kolona su tuščiaavidurio kvadrato profiliu, o mažiausią dvitėjinės formos kolonos profilis. Tačiau parenkant kolonų skerspjūvio formą pagal skerspjūvio ploto inercijos momentą, profilio sienelių storį ir gabaritinius matmenis, tai didžiausią atsparumą kritinei jėgai turi tuščiaaviduris skritulio formos profilis, o mažiausiu atsparumu pasižymi tuščiaavidurio kvadrato formos kolonos profilis. Didėjant kolonos ilgiui, kolonų atsparumas kritinei jėgai mažėja.

LITERATŪRA

1. **Čižas A.**, Medžiagų atsparumas. Vilnius, 1993, p. 323 – 330;
2. **Javidinejad A.** Buckling of beams and columns under combined axial and horizontal loading with various axial loading application locations. USA, Garden Grove, 2012. p. 20, 25-29;
3. **Lagace Paul A.**, The column and buckling. - Massachusetts Institute of Technology, 2009, p. 22;
4. **Marčiukaitis G., Valiuvonis J.**, Pastatų konstrukcijų projektavimo pagrindai. Vilnius, 2001, p. 118 -123;
5. **Marčiukaitis G., Valivonis J.** Statybinės konstrukcijos: vadovėlis. Vilnius: Technika, 2000, p. 106;
6. **Marčiukaitis G., Valivonis J.** Statybinės konstrukcijos ir jų projektavimo pagal euronormas pagrindai. - Vilnius, 2010, p. 119-122;
7. **Paulauskas J., Kvedaras A.** Metalinės konstrukcijos. – Vilnius, 1977, p. 222-238;
8. **Paulauskas J., Kvedaras A.** Metalinės konstrukcijos: vadovėlis pramoninės ir civilinės statybos specialybei. Vilnius: Mokslas, 1997, p. 460;
9. **Vaitkevičius V.**, Metalinės konstrukcijos. Vilnius, 1986, p 13, 50-51;
10. **Dubina D., Snijder H.H.**, Special issue “stability and nonlinear analysis of steel structures – research advances”. romanian journal of technical sciences appliedmechanics, Volume 59, Nos 1–2, 2014;
11. **Galambos T., Surovek E.** Structural stability of steel: concepts and applications for structural engineers. 2008;
12. **YuraJ. A.**, Five useful stability concepts. The American Institute of Steel Construction, 2011;
13. **Konstantakopoulos T. G., Raftoyiannis I. G., Michaltsos G.** Stability of Steel Columns with Non-Uniform Cross-Sections, The Open Construction and Building Technology Journal, Greece 2012;
14. **Krolak M.,Kowal-Michalska K. Mania R.**, Stability and load carrying capacity of multi-cell thin-walled columns of rectangular cross-sections, Journal of theoretical and applied mechanics 47, 435-456, Warsaw 2009;
15. **Spoorenberg R. C., Snijder H. H., Cajot I.-G., Popa N.** Buckling curves for heavy wide flange QST columns based on statistical evaluation // Journal of Constructional Steel Research, 101, 2014, p. 280-289;
16. Internetinė prieiga <http://whc.unesco.org/en/list/371/gallery/> [žiūrėta 2015 12 13]