



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

TILTŲ IR SPECIALIŲJŲ STATINIŲ KATEDRA

Eglė Linkutė

**IŠ ANKSTO ĮTEMPTŲ STYGINIŲ PLIENO TILTŲ KOMPONAVIMAS
IR ELGSENOS ANALIZĖ**

**ARRANGEMENT AND BEHAVIOUR ANALYSIS OF PRESTRESSED
STRING STEEL BRIDGES**

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 62402T107

Tiltų ir viadukų specializacija

Statybos inžinerijos mokslo kryptis 02T

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

TILTŲ IR SPECIALIŲJŲ STATINIŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Gintaris Kaklauskas

(Vardas, pavardė)

2015 06 08

(Data)

Eglė Linkutė

**IŠ ANKSTO ĮTEMPTŲ STYGINIŲ PLIENO TILTŲ KOMPONAVIMAS IR
ELGSENOS ANALIZĖ**

**ARRANGEMENT AND BEHAVIOUR ANALYSIS OF PRESTRESSED STRING
STEEL BRIDGES**

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 62402T107

Tiltų ir viadukų specializacija

Statybos inžinerijos mokslo kryptis 02T

Vadovas


(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)


(Parašas)

2015-06-08
(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas


(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)


(Parašas)

2015-06-08
(Data)

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
TILTŲ IR SPECIALIŲJŲ STATINIŲ KATEDRA

Technologijos mokslo sritis
Statybos inžinerijos mokslo kryptis
Statybos inžinerijos studijų kryptis
Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 62402T107
Tiltų ir viadukų specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

prof. G. Kaklauskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

2014.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei) Eglei Linkutei
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: **Iš anksto įtemptų styginių plieno tiltų komponavimas ir elgsenos analizė**

patvirtinta 2014 m. spalio 16 d. dekanų potvarkiu Nr. 511st

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2015 m. birželio 2 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Apžvelgti vienajūsčių bei styginių plieno tiltų konstrukcijų formas bei jų skaičiavimo metodus. Išanalizuoti neįtemptosios ir įtemptosios styginės konstrukcinės sistemos elgseną veikiant įvairiems apkrovimo variantams. Parengti tokių sistemų inžinerinę įrąžų ir poslinkių apskaičiavimo metodiką. Išnagrinėti neįtemptos ir įtemptosios styginės sistemos įtempių deformacijų būseną, atsižvelgiant į tokių sistemų geometrinių bei fizinių parametrų įtaką. Sugretinti vieno tarpatramio ir daugiaatramės stygines įtemptąsias ir neįtemptąsias sistemas. Įvertinti tiltų styginių sistemų techninį efektyvumą. Pateikti darbo išvadas ir rekomendacijas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

.....prof. dr. Algirdas Juozapaitis.....

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

..... Eglė Linkutė

(Vardas, pavardė)

.....2014 10 21

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų,
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2011-2012 m. m.
1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Eglė Linkutė, 20083414

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Statinių konstrukcijos, TILfm-13

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2015 m. birželio 2 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Iš anksto įtemptų styginių plieno tiltų komponavimas ir elgsenos analizė“ patvirtintas 2014 m. spalio 16 d. dekanų potvarkiu Nr. 511st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas prof. dr. Algirdas Juozapaitis.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).


(Parašas)

Eglė Linkutė
(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Tiltų ir specialiųjų statinių katedra

ISBN _____ ISSN _____
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Statinių konstrukcijų** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Iš anksto įtemptų styginių plieno tiltų komponavimas ir elgsenos analizė**

Autorius **Eglė Linkutė**

Vadovas **prof. dr. Algirdas Juozapaitis**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Iš anksto įtemptasis styginis plieno tiltas – tai pradinio įsvyrio neturinti vienajuostė konstrukcija, kurios pradinis ilgis mažesnis už tarpatramio ilgį. Nepaslankus šių konstrukcijų tvirtinimas galuose sukelia dideles skėtimo jėgas, kurios perduodamos pamatams. Šiose konstrukcijose veikianti asimetrinė apkrova nesukelia kinematinio poslinkio, tačiau pradinio įsvyrio neturinčiose sistemose veikianti skėtimo jėga yra žymiai didesnė nei tokių pačių parametų vienajuostyje. Išankstinis įtempimas skėtimo jėgą dar labiau didina, tačiau smarkiai suvaržo poslinkius vertikalia linkme. Kadangi styginės konstrukcijos projektuojamos pagal tinkamumo ribinį būvį, ši jų savybė labai svarbi.

Darbe apžvelgiami vienajuosčiai tiltai, styginės konstrukcijos, aptariamos jų konstrukcinės schemos bei skaičiavimo metodai. Analizuojamos vieno ir kelių tarpatramių skirtingų ilgių stygų įrašų ir poslinkių priklausomybė nuo skerspjūvio ploto ir išankstinio įtempimo. Nustatytas temperatūros poveikis įtempių deformacijų būsenai. Parengiama iš anksto įtemptos plieninės styginės tilto konstrukcijos inžinerinio skaičiavimo metodika.

Įtemptos styginės konstrukcijos dėl minimalių medžiagų bei gamybos ir montavimo darbo sąnaudų, nekenksmingo poveikio aplinkai bei mažų deformacijų gali būti labai plačiai pritaikytos praktikoje.

Darbo apimtis – 72 puslapiai teksto be priedų, 57 paveikslai, 9 lentelės, 22 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: styginė sistema, vieno tarpatramio styginė konstrukcija, daugiaatramė styginė konstrukcija, neįtemptoji styga, įtemptoji styga, išankstinis įtempimas, kinematinis poslinkis, tamprusis poslinkis, temperatūros poveikis

Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Civil Engineering Department of Bridges and Special Structures	ISBN _____ ISSN _____ Copies No. Date-.....-.....
Master Degree Studies Structural Engineering study programme Master Graduation Thesis Title Arrangement and behaviour analysis of prestressed string steel bridges Author Eglė Linkutė Academic supervisor Prof Dr Algirdas Juozapaitis	
Thesis language: Lithuanian	
Annotation Prestressed string bridge is a stress ribbon bridge with no initial sag and the construction length is smaller than the span length. The rigid supports at the ends of the bridge cause tension forces, which are transferred to the foundations. Kinematic displacements do not appear in these structures whilst subject to an asymmetric load. However, due to the lack of the initial sag, tension force is substantially higher than in the stress ribbon bridge with the same conditions. Pre-tension further increases the thrust force, but severely restricts vertical movement. Whereas string structures are designed in accordance with the serviceability limit state, this feature is very important. This paper gives an overview of stress ribbon bridges, string construction and discusses their methods of calculation. Using single and multi-span analysis, different lengths of string stress and displacement dependence on the cross section area and the pre-tensioning force. This thesis also provides an overview of the effects of temperature, a methodological calculation of a prestressed steel string footbridge. String constructions can be widely applied in practice due to minimal demand of materials, low production and montage labor costs, as well as low environmental impact and small deformations In concluding work there are 72 pages without appendix, 57 pictures, 9 tables, 22 bibliographical entries.	
Keywords: string system, one span string construction, multi-span string construction, prestressed string, not prestressed string, pre-tension force, kinematic displacement, elastic displacement, temperature effects	

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	9
LENTELIŲ SĄRAŠAS	13
ĮVADAS.....	14
1 KABAMŲJŲ VIENAJUOSČIŲ TILTŲ IR STYGINIŲ TILTŲ KONSTRUKCIJĖS SCHEMOS BEI JŲ SKAIČIAVIMO METODAI	15
1.1 Vienajuosčių tiltų konstrukcijų apžvalga. Skaičiavimo metodai.....	15
1.2 Styginiai tiltai ir kitos iš anksto įtemptos konstrukcijos. Skaičiavimo metodai	21
1.3 Darbo tikslas ir uždaviniai	26
2 VIENO TARPATRAMIO STYGINIŲ KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ.....	27
2.1 Neįtemptosios styginės konstrukcijos skaičiavimas taikant inžinerinius ir skaitinius metodus	27
2.2 Iš anksto įtemptosios styginės konstrukcijos skaičiavimas taikant inžinerinius ir skaitinius metodus.....	30
2.2.1 Išankstinio įtempimo poveikis mažinant konstrukcijos vertikalųjį poslinkį ir nekeičiant skerspjūvio ploto	32
2.2.2 Išankstinio įtempimo poveikis mažinant konstrukcijos skerspjūvio plotą ir nekeičiant jos ribinio poslinkio.....	34
2.3 Temperatūros poveikis styginei konstrukcijai	39
2.3.1 Neįtemptosios stygos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio	39
2.3.2 Iš anksto įtemptosios stygos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio	46
2.4 Rezultatai ir išvados	51
3 DAUGIAATRAMIŲ STYGINIŲ KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ	53
3.1 Penkių tarpatramių styginės konstrukcijos analizė, kai visi tarpatramių ilgiai lygūs	53
3.2 20 m tarpatramio styginės konstrukcijos elgsenos analizė, esant skirtingam tarpatramių skaičiui.....	61
3.3 Techninis styginio tilto konstrukcijos efektyvumas.....	65
3.4 Rezultatai ir išvados	67
BENDROSIOS IŠVADOS	68

LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	69
PRIEDAI	72

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Katsushika Hokusai piešinys – vienajuostis tiltas tarp Hida ir Etchu (Juozapaitis, 2007)	15
1.2 pav. Vienajuostis kabamasis Qeswachaka pėsčiųjų tiltas Kusko vietovėje, Peru (Qeswachaka – A Handwoven... 2010).....	15
1.3 pav. Bircherweid vienajuostis kabamas tiltas šiandien ir jo skersinis pjūvis (Hegner-van Rooden 2015)	16
1.4 pav. Anglies pluošto vienajuosčio tilto modelis (Bleicer, Schlaich <i>et al.</i> 2011).....	17
4.5 pav. Trijų skirtingų vienajuosčio tilto tipų skerspjūviai su skirtingais laikančiaisiais elementais: a) betoninės plokštės palaikomos metaliniais lynais, b) plieninės juostelės, c) įtemptojo gelžbetonio sistemos (Baus, Schleich 2007)	18
1.6 pav. Vienajuostis kabamasis tiltas per Sakramento upę JAV (Bridge across the Sacramento River...2005).....	18
1.7 pav. Vienajuostis Punt de Suransuns tiltas Viamala regione, Šveicarijoje (nuotraukos autorės).....	18
1.8 pav. Lankstaus lyno skaičiuojamoji schema, kai atramos viename lygyje (Москалев 1980)	19
1.9 pav. Standaus lyno skaičiuojamoji schema, kai atramos viename lygyje (Москалев 1980)	20
1.10 pav. Įtemptas kabamasis stogas Expo parodoje Montrealyje 1967 m. (Fabric makes home... 2015).....	22
1.11 pav. Miuncheno olimpinis stadionas 1972 m. (AD classics: Munich... 2011)	22
1.12 pav. Iš anksto įtempto plieno lynų atitvarai (Seven Wirre Steel Barrier... 2015)	23
1.13 pav. Kabamasis tiltas su grandinės formos laikančiuoju lynu Berne	24
1.14 pav. Antrasis įtemptos styginės konstrukcijos bandymas, 2003 m. (Junitsky 2006)	25
1.15 pav. Įtemptos styginės konstrukcijos (The story of the... 2009)	25
1.16 pav. Styginio transporto bandomieji modeliai (Junitsky 2008)	25
2.1 pav. Neįtemptos styginės konstrukcijos skaičiuojamoji schema.....	27
2.2 pav. Neįtemptosios stygos vidurio taško poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingoms ribinio poslinkio sąlygoms	30

2.3 pav. Iš anksto įtemptos styginės konstrukcijos skaičiuojamoji schema	31
2.4 pav. 20 m tarpatramio stygos įlinkio priklausomybė nuo išankstinės įtempimo jėgos, kai elemento skerspjūvio plotas išlieka pastovus	33
2.5 pav. 20 m tarpatramio stygos įtempių priklausomybė nuo išankstinės įtempimo jėgos, kai elemento skerspjūvio plotas išlieka pastovus	34
2.6 pav. Įtempių priklausomybė nuo išankstinės įtempimo jėgos, kai stygos ribinis poslinkis yra pastovus	36
2.7 pav. Stygos skerspjūvio ploto priklausomybės nuo išankstinės įtempimo jėgos grafikas.	36
2.8 Pav. Stygos skerspjūvio ploto priklausomybė nuo tinkamumo ribinių būvių sąlygos esant skirtingam pradiniam stygos įtempimui.....	37
2.9 pav. Stygos skerspjūvio ploto priklausomybė nuo įtempių, kai stygos ribinis santykinis poslinkis yra $l/100$	37
2.10 pav. Stygos skerspjūvio ploto priklausomybė nuo įtempių, kai stygos ribinis santykinis poslinkis yra $l/200$	38
2.11 pav. Procentinė stygos skerspjūvio ploto priklausomybė nuo įtempių, esant bet kokioms ribinėms santykinėms poslinkio sąlygoms ir tarpatramio ilgiui.....	38
2.12 pav. Procentinė neįtemptosios stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, poslinkio priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) ..	41
2.13 pav. Procentinė neįtemptosios stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) ..	41
2.14 pav. Procentinė neįtemptosios stygos, apkrautos nuolatine ir kintančia apkrovomis, poslinkio priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje)	43
2.15 pav. Procentinė neįtemptosios stygos, apkrautos nuolatine ir kintančia apkrovomis, skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje)	43
2.16 Pav. Neįtemptosios stygos skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) 20 m ilgio stygoje įvertinant ir neįvertinant kintamą apkrovą.....	44
2.17 pav. Neįtemptosios stygos skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) 30 m ilgio stygoje įvertinant ir neįvertinant kintamą apkrovą.....	45

2.18 pav. Neįtemptosios stygos skėtimo jėgos nuo neigiamo temperatūros pokyčio skirtingo ilgio stygose palyginimas įvertinant ir neįvertinant laikinąją apkrovą	45
2.19 pav. Procentinė 15 m ilgio įtemptosios stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, poslinkio priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo.....	47
2.20 pav. Procentinė 15 m ilgio įtemptosios stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo – kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo.....	47
2.21 pav. Procentinė 15 m ilgio įtemptosios stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, įtempių priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo – kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo.....	47
2.22 pav. Procentinė 15 m ilgio iš anksto įtemptosios stygos, apkrautos nuolatine ir laikinąja apkrovomis, poslinkio priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo	49
2.23 pav. Procentinė 15 m ilgio iš anksto įtemptosios stygos, apkrautos nuolatine ir laikinąja apkrovomis, skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo	50
2.24 pav. Procentinė 15 m ilgio iš anksto įtemptosios stygos, apkrautos nuolatine ir laikinąja apkrovomis, įtempių priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo	50
2.25 pav. Įtemptosios stygos skėtimo jėgos nuo neigiamo temperatūros pokyčio skirtingai įtemptose 15 m ilgio konstrukcijose palyginimas įvertinant ir neįvertinant laikinąją apkrovą	51
3.1 pav. Penkiaatramės stygos apkrovimo variantų schema.....	54
3.2 pav. Penkiaatramės neįtemptosios stygos ($T = 0 \%$, $A = \text{const.}$) poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui	56
3.3 pav. Penkiaatramės įtemptosios stygos ($T = 25 \%$, $A = \text{const.}$) poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui	56
3.4 pav. Penkiaatramės įtemptosios stygos ($T = 95\%$, $A = \text{const.}$) poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui	56
3.5 pav. Penkiaatramės, bet kokio tarpatramio ilgio stygos procentinė poslinkio priklausomybė nuo išankstinio įtempimo jėgos esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui	

(A prie kiekvieno įtempimo mažinamas iki minimalaus ribinio poslinkio sąlygą $l/200$ tenkinančio skerspjūvio ploto)	57
3.6 pav. Penkiaatramės neįtemptosios ($T = 0 \%$) ir įtemptosios ($T = 25 \%$) stygos procentinė skėtimo jėgos priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui	58
3.7 pav. Penkiaatramės neįtemptosios stygos ($T = 0 \%$) tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui.....	58
3.8 pav. Penkiaatramės įtemptosios stygos ($T = 50 \%$) tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui.....	59
3.9 pav. Penkiaatramės stygos tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo išankstinio įtempimo jėgos ir apkrautų tarpatramių skaičiaus bet kokio ilgio tarpatramiui	59
3.10 pav. Penkiaatramės stygos tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo apkrautų tarpatramių skaičiaus visų tarpatramių konstrukcijoms esant skirtingoms išankstinio įtempimo reikšmėms	60
3.11 pav Penkiaatramės stygos tarpinių atramų maksimalių horizontalių deformacijų priklausomybė nuo apkrautų tarpatramių skaičiaus esant skirtingoms išankstinio įtempimo reikšmėms.....	60
3.12 pav. Daugiaatramių stygų apkrovimo variantų schemas	61
3.13 pav. Daugiaatramės neįtemptosios ir įtemptosios stygos poslinkio priklausomybė nuo bendro tarpatramių ir apkrautų tarpatramių skaičiaus	62
3.14 pav. Daugiaatramės neįtemptosios ir įtemptosios stygos skėtimo jėgos priklausomybė nuo bendro tarpatramių ir apkrautų tarpatramių skaičiaus.....	63
3.15 pav. Daugiaatramės stygos skėtimo jėgos priklausomybė nuo išankstinio įtempimo esant apkrautam vienam tarpatramiui ir skirtingam tarpatramių skaičiui visoje konstrukcijoje.....	63
3.16 pav. Daugiaatramės stygos maksimalus tarpinės atramos horizontalus poslinkis didėjant konstrukcijos tarpatramių skaičiui ir išankstiniam įtempimui	64

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Neįtemptosios styginės konstrukcijos analitinio ir skaitinio metodo skaičiavimo rezultatų palyginimas	29
2.2 lentelė. Neįtemptosios styginės konstrukcijos poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempimų pokytis dėl temperatūros poveikio (absoliutiniu dydžiu ir procentais), kai veikia tik nuolatinė apkrova.....	40
2.3 lentelė. Neįtemptosios styginės konstrukcijos poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempimų pokytis dėl temperatūros poveikio (absoliutiniu dydžiu ir procentais), kai veikia nuolatinė ir laikina apkrovos	42
2.4 lentelė. Iš anksto įtemptosios styginės 15 m ilgio konstrukcijos poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempimų pokytis dėl temperatūros poveikio (absoliutiniu dydžiu ir procentais), kai veikia nuolatinė apkrova.....	46
2.5 lentelė. Iš anksto įtemptosios styginės 15 m ilgio konstrukcijos poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempimų pokytis dėl temperatūros poveikio (absoliutiniu dydžiu ir procentais), kai veikia nuolatinė ir laikina apkrovos	49
3.1 lentelė. Penkiaatramės 20 m tarpatramio ilgio stygos skaičiavimo rezultatai	54
3.2 lentelė. Neįtemptosios ir iš anksto įtemptosios ($T = 50 \%$) stygos poslinkių skirtumas ...	62
3.3 lentelė. Maksimalus tarpinės atramos poslinkis skirtingą tarpatramių skaičių turinčiose konstrukcijose	64
3.4 lentelė. Didžiausius horizontalius poslinkius daugiaatramėse konstrukcijose sukeliantys apkrovų deriniai	65

IVADAS

Vienajuosčiai kabamieji tiltai – vieni racionaliausių tiltų tipų pagal savo konstrukciją ir sunaudojamų medžiagų kiekį. Pagrindinis šių konstrukcijų privalumas – minimalus poveikis aplinkai ir dėl itin mažo pakloto aukščio liauna ir grakšti išvaizda. Tačiau minimalios medžiagų sąnaudos kartu turi ir neigiamų aspektų: kuo šios kabamos konstrukcijos lengvesnės, tuo jos yra deformatyvesnės ir jautresnės kinematinės kilmės poslinkiams.

Kaip alternatyva vienajuosčiams tiltams gali būti taikomos ne mažiau elegantiškos ir lengvos, iš įtempto plieno projektuojamos styginės konstrukcijos. Jos visiškai nejautrios kinematinės kilmės poslinkiams ir, nors ir lengvos, tačiau labai stabilios. Pagrindinis styginių konstrukcijų trūkumas – dėl išankstinės įtempimo jėgos atsirandančios didelės skėtimo jėgos. Būtina pažymėti, kad dar nėra pakankamai teorinių ir eksperimentinių duomenų, leidžiančių projektuotojams taikyti šias efektyvias konstrukcijas įvairios paskirties tiltams.

Šiame darbe nagrinėjama iš anksto įtemptųjų styginių plieno tiltų konstrukcijų tema yra itin aktuali ir labai perspektyvi ne tik Europoje, bet ir visame pasaulyje. Galima teigti, kad tai ateities tiltų konstrukcijos. Jos nesunkiai įrengiamos, lengvai pritaikomos įvairiose geografinėse vietovėse esant skirtingai aplinkai ir reljefui, reikalaujančios sąlyginai nedidelių laiko, darbo ir medžiagų sąnaudų.

Pasaulyje šia tema dar tik pradedama domėtis. Daugiausia bandymų ir tyrimų atlikta Rusijoje, Jungtinėse Amerikos valstijose, Kinijoje ir Japonijoje. Yra atlikti eksperimentiniai tyrimai poligonuose. Tačiau suprojektuotų ir pastatytų tiltų dar nėra. Lietuvoje tokių styginių konstrukcijų tyrimai nėra atliekami ir iš anksto įtemptųjų styginių plieninių konstrukcijų tema parašytų mokslinių darbų autorė nėra aptikusi.

Pirmame skyriuje apžvelgiamos vienajuostės kabamos ir įtemptosios konstrukcijos, jų skaičiavimo metodai, aptarti pirmieji styginių tiltų bandymai, suformuluojamas darbo tikslas ir uždaviniai.

Antrame skyriuje analitiškai ir skaitiškai nagrinėjama vieno tarpatramio neįtempta ir iš anksto įtempta absoliučiai lanksti styginė konstrukcija, jos poveikių efektų (įrąžų ir poslinkių) priklausomybė nuo išankstinio įtempimo jėgos dydžio bei temperatūros pokyčio.

Trečiajame skyriuje skaitiškai analizuojama daugiaatramė absoliučiai lanksti įtemptoji styginė konstrukcija ir jos poveikių efektų priklausomybė nuo tarpatramių ilgio bei jų skaičiaus.

1 KABAMŲJŲ VIENAJUOSČIŲ TILTŲ IR STYGINIŲ TILTŲ KONSTRUKCIJĖS SCHEMOS BEI JŲ SKAIČIAVIMO METODAI

1.1 Vienajuosčių tiltų konstrukcijų apžvalga. Skaičiavimo metodai

Vienajuosčių tiltų apžvalgoje bus supažindinama su pirmaisiais tokio tipo tiltais. Aptariami jų tipai, konstrukcinė sandara, elgsenos ypatumai bei apžvelgiami lankstaus ir standaus lyno analizės skaičiavimo metodai.

Pirmieji vienajuosčiai tiltai

Pirmieji tiltai istorijoje buvo sukurti žmonėms prireikus įveikti natūralias jų aplinkoje esančias kliūtis, pvz. upę ar tarpekį (1.1 pav. ir 1.2 pav.). Šie primityvūs statiniai, panašiausi į šių dienų vienajuosčius kabamuosius tiltus, tik tuomet jie buvo gaminami iš gamtoje randamų organinių medžiagų – supintų lianų (Juozapaitis 2007, Straskys 2005).

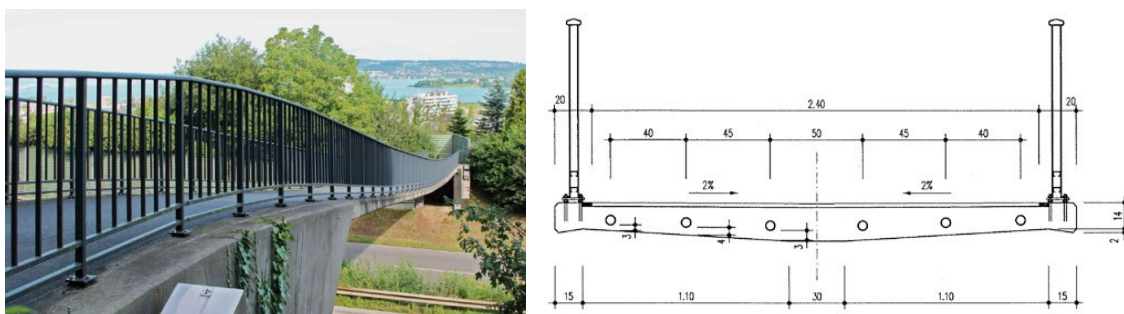


1.1 pav. Katsushika Hokusai piešinys – vienajuostis tiltas tarp Hida ir Etchu (Juozapaitis, 2007)



1.2 pav. Vienajuostis kabamasis Qeswachaka pėsčiųjų tiltas Kusko vietovėje, Peru (Qeswachaka – A Handwoven... 2010)

Vienas pirmųjų pasaulyje iš anksto įtemptas vienajuostis tiltas buvo pastatytas 1965 m. Šveicarijoje (1.3 pav.). 2,8 m pločio ir 40 m tarpatramio Birchweid pėsčiųjų tiltas buvo nutiestas virš greitkelio ir dėl jo skirtinguose aukščiuose esančios važiuojamosios dalies turi apie 3 m aukščio skirtumą tarp atramų. Pagrindiniai laikantieji perdangos elementai – šeši iš anksto įtempti ir vidutiniškai 15 cm storio gelžbetoninėje plokštėje įrengti lynai, kurie tvirtai inkaruojami atramose (Walther 1969). Nuo 1965 m. visame pasaulyje: Vokietijoje, Amerikoje, Kanadoje, Čekijoje, Japonijoje sparčiai paplito vienajuosčių tiltų statyba, o 2003 m. surekonstruotas dabar jau penkiasdešimties metų senumo Birchweid tiltas iki šiol yra saugomas kaip regiono statybos paminklas (Hegner-van Rooden 2015).



1.3 pav. Bircherweid vienajuostis kabamas tiltas šiandien ir jo skersinis pjūvis (Hegner-van Rooden 2015)

Šalia tradicinių statybinių medžiagų: plytų, plieno, betono ir medienos atsiranda ir vis naujų, modernių statybinių medžiagų. Neseniai dar naujove buvęs statinių elementų sustiprinimas anglies pluošto lakštais paskutiniu metu tapo standartiniu sprendiniu, o atliekami įvairūs bandymai jį įtraukia ir į išskirtinio naudojimo statybines medžiagas, kurios tinka gaminti ir laikančiąsias konstrukcijas (Schlaich, Geissler *et al.* 2013). 2010 m. Berlyno technologijos institute bandymams atlikti pastatytas 13 m tarpatramio anglies pluošto vienajuostis tiltas (1.4 pav.). Paklotą laiko šešios, $\approx 1,1 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ skerspjūvio įtemptos juostos. Tokia konstrukcija yra didelės laikomosios galios, bet dėl labai mažo savojo svorio jautri dinaminiais poveikiams, atsirandantiems veikiant laikinajai apkrovai. Siekiant suvaldyti šiuos svyravimus tilte buvo įrengiami pneumatiniai aktyvūs ir neaktyvūs slopintuvai. Jie palaiko vibracijas leidžiamose ribose ir tiltas atitinka visus tinkamumo reikalavimus bei gali būti naudojamas artimoje ateityje (Bleicher 2011).



1.4 pav. Anglies pluošto vienajuosčio tilto modelis (Bleicer, Schlaich *et al.* 2011)

Šiais laikais kabama vienajuostė konstrukcija yra tarp elegantiškiausių ir lengviausių tiltų konstrukcijų. Dėl jos statinių ir dinaminių charakteristikų dažniausiai skiriama pėsčiųjų ir dviračių, o ne automobilių ar geležinkelio eismui (Baus 2008, Strasky 2005). Konstrukcijų lengvumas ir grakštumas yra nuoseklaus medžiagų ir konstrukcinės sandaros optimizavimo rezultatas.

Vienajuosčių tiltų tipai, elgsenos ypatumai ir deformatyvumas

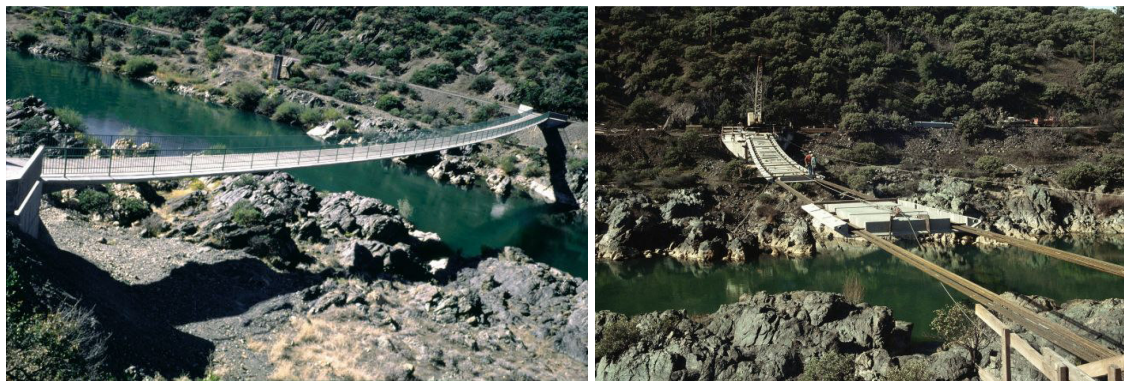
Šių dienų vienajuostis yra grandininės kreivės formos tiltas sudarytas iš nedidelio statybinio aukščio betoninio pakloto plokštės palaikančiųjų iš anksto įtemptųjų lynų ar metalinių juostų. Pagrindiniai šios konstrukcijos privalumai – dėl minimalaus kiekio medžiagų mažas poveikis aplinkai; nereikalingi klojiniai ar kitokie tvirtinimai, kurie gali pakenkti natūraliai aplinkai; tuo pačiu mažėja ir laiko bei darbo sąnaudos; minimalios priežiūros priemonės, nes konstrukcijoje nėra deformacinių siūlių (Strasky 2008).

Vienas pagrindinių tokių kabamųjų konstrukcijų trūkumų yra didelės deformacijos veikiant asimetrinėms bei lokalinėms apkrovoms. Siekiant sumažinti tokių tiltų kinematinės kilmės poslinkius ant pagrindinių laikančių lynų yra įrengiami sunkūs, dažniausiai gelžbetoniniai paklotai, arba neretai naudojamos iš anksto įtemptosios gelžbetoninės konstrukcijos (Juozapaitis, Grigorjeva *et al.* 2012).

Yra trys pagrindiniai vienajuosčių tiltų tipai (1.5 pav.): surenkamos betoninės plokštės palaikomos metaliniais lynais, įtemptojo gelžbetonio sistemos (1.6 pav.) ir sistemos, kuriose naudojamos plieninės juostos atlaikančios tempimo jėgas (1.7 pav.) (Schlaich, Brownlie *et al.* 2005).



1.5 pav. Trijų skirtingų vienajuosčio tilto tipų skerspjūviai su skirtingais laikančiaisiais elementais: a) betoninės plokštės palaikomos metaliniais lynais, b) plieninės juostelės, c) įtemptojo gelžbetonio sistemos (Baus, Schleich 2007)



1.6 pav. Vienajuostis kabamasis tiltas per Sakramento upę JAV (Bridge across the Sacramento River...2005)



1.7 pav. Vienajuostis Punt de Suransuns tiltas Viamala regione, Šveicarijoje (nuotraukos autorės)

Vienajuosčių tiltų inžineriniai skaičiavimo metodai

Vienajuosčiai kabamieji pėsčiųjų tiltai gali būti projektuojami ir skaičiuojami kaip lankstūs arba baigtinio lenkiamojo standumo lynai.

Absoliučiai lankstaus lyno elgsenos analizė. Vieno tarpatramio vienajuosčius tiltus apibūdina lengva laisvai kabanti forma. Tokie tiltai dažniausiai yra pastovaus skerspjūvio ir mažo pradinio įsvyrio, todėl jie yra kvadratinės parabolės formos (Strasky 2006). Skaičiuojant tokius tiltus daroma prielaida, kad pagrindinis laikantysis elementas yra

absoliučiai lankstus lynas, kurio lenkiamasis standis $EI = 0$, o visa konstrukcijos elgsena geometriškai netiesinė.

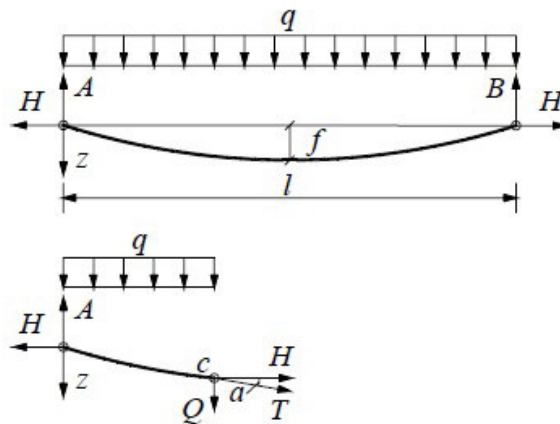
1.8 paveiksle pavaizduota lankstaus lyno skaičiuojamoji schema. Bendru atveju lyno atramos yra viename lygyje, o neatsižvelgiant į lyno lenkiamąjį standį jo lenkimo momentą taške C prilyginus nuliui, gaunama elemente veikianti skėtimo jėga H :

$$H = \frac{ql^2}{8f}, \quad (1.1)$$

čia q – konstrukciją veikianti apkrova;

l – tarpatramio ilgis;

f – pradinis tarpatramio įsvyris.



1.8 pav. Lankstaus lyno skaičiuojamoji schema, kai atramos viename lygyje (Москалев 1980)

Bet kuriame elemento taške tempimo įraš T yra lygi vertikalios ir horizontalios jėgų H ir Q dedamųjų sumai tame taške:

$$T = \sqrt{H^2 + Q^2} = H/\cos\alpha, \quad (1.2)$$

čia α – kampas tarp horizontalios ašies ir elemento taške veikiančios tempimo jėgos.

Į (1.2) įrašius (1.1) formulę ir atlikus supaprastinimus gaunama formulė didžiausiai įtempimo jėgai lyno centre apskaičiuoti:

$$T_{\max} = \frac{ql^2}{8f} \sqrt{1 + 16(f/l)^2}. \quad (1.3)$$

Iš gautų priklausomybių matoma, kad esant mažesniai pradiniam įsvyriui, mažėja ir skirtumas tarp maksimalios lyno įrašos $T_{\max}$ ir skėtimo jėgos H . Kai $f/l = 1/10$, skirtumas yra apie 8 %, o kai $f/l = 1/20$ skirtumas – 2 %.

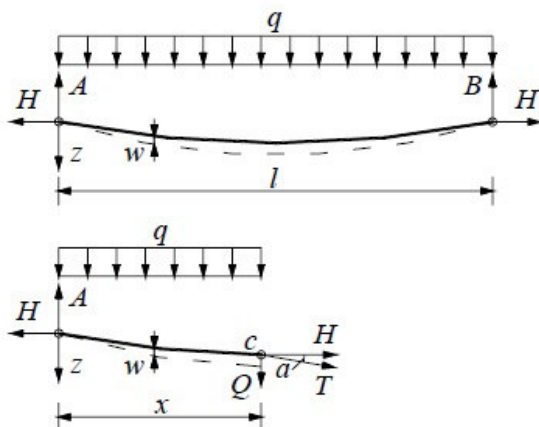
Veikiant išorinei apkrovai lynas pailgėja dydžiu Δs , o lyno ilgį po deformacijos ir galimo atramų poslinkio Δl galima užrašyti taip:

$$s + \Delta s = \int_0^{l-\Delta l} \sqrt{1 + \frac{Q^2}{H^2}} dx, \quad (1.4)$$

čia s – pradinis lyno ilgis.

Standaus lyno elgsenos analizė. Atsižvelgiant į tai, kad absoliučiai lankstus lynas yra tik teorinė sąvoka ir supaprastinant skaičiavimus daroma prielaida, norint gauti tikslesnius rezultatus vienajuostį kabamąjį tiltą reikia skaičiuoti įvertinant jo laikančiojo lyno lenkiamąjį standį EI . Standus lynas – tai kreivos formos strypas, dažnai vadinamas apversta arka, kuris jį veikiančias apkrovas perima ne tik savo tempimu, bet ir lenkimu. Nuo arkinės konstrukcijos jis skiriasi tuo, kad lynė išorinės apkrovos sukelia tempimo, o arkoje – gniuždymo įtempius.

Kai baigtinio lenkiamojo standumo lyno atramos yra viename lygyje, dėl veikiančių apkrovų ir savojo svorio lynas deformuosis, t.y. ištįs ir įgis vertikalų poslinkį w (1.9 pav.).



1.9 pav. Standaus lyno skaičiuojamoji schema, kai atramos viename lygyje (Москалев 1980)

Vertikalios standaus lyno atraminės reakcijos A ir B yra lygios analogiškai apkrautoms ir atremtoms sijos reakcijoms ir apskaičiuojamos pagal formules:

$$A = \frac{\int_0^l q \cdot (l-x) \cdot dx}{l}; \quad (1.5)$$

$$B = \frac{\int_0^l q \cdot x \cdot dx}{l}, \quad (1.6)$$

čia x – apkrautos dalies ilgis.

Suprojektavus visas jėgas į x ašį gaunama konstrukcijos skėtimo jėga H , kaip ir absoliučiai lanksčiame lynė, yra pastovi visame tilto ilgyje ir apskaičiuojama pagal formulę:

$$H(x) = \frac{M(x) - m(x)}{z + w}, \quad (1.7)$$

čia $M(x)$ – išorinės apkrovos sukeltas lenkimo momentas, kuris lygus lenkimo momentui analogiškai apkrautoje sijoje, $M = Ax - \int_0^x qxdx$;

$m(x)$ – vidinių jėgų sukeltas lyno lenkimo momentas;

w – vertikalus apkrautos konstrukcijos poslinkis (įsvyris).

Vidinių jėgų sukeltas lenkimo momentas apskaičiuojamas remiantis tiesaus strypo lenkimo teorija:

$$m = -EI \cdot w'', \quad (1.8)$$

čia EI – lenkiamasis lyno standis;

w'' – antroji įsvyrio išvestinė.

Lyno ilgis po deformavimo užrašomas (1.9) formule, o baigtinio standumo lyne dėl jo pailgėjimo atsirandanti skėtimo jėga apskaičiuojama naudojantis (1.10) formule.

$$S + \Delta S = \int_0^{1-\Delta l} \sqrt{1 + \frac{(Q + EI \cdot w'')^2}{H^2}} dx, \quad (1.9)$$

$$H = \sqrt{\frac{\int_0^{1-\Delta l} (Q + EI w'')^2 dx}{2(S + \Delta S - l + \Delta l)}}. \quad (1.10)$$

Veikiant išoriniai apkrovai standus lynas deformuosis pagal lenkimo momentų diagramą. Kuo standaus lyno apybrėža bus artimesnė lenkimo momentų diagramos formai, tuo lynas išlinks mažiau.

Pagal aptartas analitines išraiškas galima apskaičiuoti teoriškai absoliučiai lankstaus ir baigtinio lenkiamojo standumo lynų pailgėjimus, elementų įrašas bei atramines reakcijas (Москалев 1980).

1.2 Styginiai tiltai ir kitos iš anksto įtemptos konstrukcijos. Skaičiavimo metodai

Iš anksto įtemptos lyninės bei lengvosios konstrukcijos atsirado siekiant medžiagų, statinių ekologiškumo ir ilgaamžiškumo didinimo poreikiui (Schlaich, Bögle *et al.* 2011). Šiame poskyryje bus aptariamos pirmosios iš anksto įtemptosios lynų konstrukcijos, jų skaičiavimo metodai, pirmieji styginių tiltų bandymai.

Pirmosios iš anksto įtemptosios lynų konstrukcijos

Vienas pirmųjų tempiamų konstrukcijų projektuotojų – vokiečių Otto Frei, kuris 1952 m. parašė pirmąją su įtemptomis konstrukcijomis supažindinantį darbą „Kabantys stogai“ (*Das Hängende Dach*). Po įvairių bandymų ir tyrinėjimų 1967 m. pasaulio Expo parodoje Montrealyje buvo pastatytas pirmasis didelis lyninių konstrukcijų Vokietijos paviljono stogas (1.10 pav.)



1.10 pav. Įtemptas kabamasis stogas Expo parodoje Montrealyje 1967 m. (Fabric makes home... 2015)

Po sėkmingo bandymo Montrealyje Ottas Frei kartu su kitu žymiu Vokietijos inžinieriumi Jorgu Schlaichu (Jörg Schlaich) 1972 m. suprojektavo elegantišką lengvą konstrukcijų Olimpinių stadioną Miunchene (1.11 pav.).



1.11 pav. Miuncheno olimpinis stadionas 1972 m. (AD classics: Munich... 2011)

Judančias, kinematinės sistemos galima stabilizuoti panaudojant išankstinį įtempimą. Veikiamos apkrovos tokios konstrukcijos deformuojasi netiesiškai, o apkrauti taškai pasislenka ir skirtingiems apkrovimo atvejams nebegalioja superpozicijos principas (Schlaich, Bögle *et al.* 2011).

Įtemptosios konstrukcijos gali būti naudojamos ne tik stogams. Vadovaujantis saugumo reikalavimais ir siekiant apsaugoti pėsčiuosius nuo sužalojimų keliuose, mašinų stovėjimo aikštelėse Amerikoje siūloma taikyti iš septynių susuktų vielučių lynų sudarytus ir iš anksto įtemptus atitvarus (1.12 pav.). Tokios sistemos yra saugios ir ypač ekonomiškos lyginant su dažniau vartojamais kitais būdais: mūrinėmis sienomis ar blokinėmis pertvaromis (Rogers 2004).



1.12 pav. Iš anksto įtempto plieno lynų atitvarai (Seven Wirre Steel Barrier... 2015)

Įtemptosiomis styginėmis konstrukcijomis intensyviai domisi ir kinų inžinieriai. Atlikdami keletą bandymų su iš stipriojo plieno (takumo riba $f_y = 1980 \text{ MPa}$) pagamintomis ir įtemptomis vos 5 mm skersmens vielutėmis nustatė, kad iki tam tikros įtempimo reikšmės apkraunamiems elementams reikšmingas savasis standis, bet viršijus tą įtempimo jėgą dominuoti pradeda elastinis standis. Lyginant laisvai paremto ir įtempto lyno ašinius standžius didinant įtempimą jis smarkiai kinta, o santykis tarp tempimo jėgos ir deformacijų yra netiesinis. Bandymais taip pat gautas ryšis tarp lynų deformacijų, išankstinio įtempimo jėgos ir apkrovos, kuris gali padėti projektuojant konstrukcijas parinkti ekonomiškiausią elemento skerspjūvį (Li, Wu *et al.* 2012).

Lynų konstrukcijų tiltai ir elgsenos ypatumai

Priklausomai nuo to, kaip tiksliai turi būti apskaičiuota veikianti skėtimo jėga ir lyno pailgėjimas, galima išskirti tris skaičiavimo tipus:

1. $EA = \infty$ ir $EI = 0$ – elementai, turintys labai didelį ašinį, bet neturintys lenkiamojo standžio. XVIII – XIX-tame šimtmetyje tokie lynai buvo pradėti gaminami iš daug supjaustytų plieno elementų ir vadinami lanksčiomis grandinėmis. Atlaikyti veikiančias tempimo jėgas esant mažam konstrukcijos stiprumui buvo reikalingas didelis skerspjūvio plotas. Jis ir lemia didelį visos konstrukcijos ašinį standį, o tarp trumpų pavienių elementų lenkimas praktiškai nepasireiškia (1.13 pav.). Atliekant skaičiavimus ašinis standis EA prilyginamas begalybei.



1.13 pav. Kabamasis tiltas su grandinės formos laikančiuoju lynu Berne (nuotraukos autorės)

2. $EA \neq \infty$, bet $EI = 0$ – lynai, turintys tik ašinį standį. Šiuo skaičiavimu atsižvelgiama į realų konstrukcijos ašinį standį. Veikiant išorinei apkrovai skerspjūvis deformuojasi ir visas lynas pailgėja. Net ir labai mažas lyno pailgėjimas paveikia jo geometriją ir gaunamos naujos jėgų pusiausvyros sąlygos. Todėl deformuotos konstrukcijos jėgos labai priklauso nuo lyno pailgėjimo ir įsvyrio. Kuo mažesnis elastinis tamprusis ašinis elemento standis EA , tuo didesnės deformacijos ir mažesnės tempimo – skėtimo jėgos.

3. $EA \neq \infty$, bet $EI \neq 0$ – lynai turintys ir ašinį ir lenkiamąjį standį. Dažniausiai lynai, kaip konstrukciniai elementai yra ilgi ir mažo skerspjūvio. Tokiu atveju jų lenkiamasis standis apytiksliai lygus nuliui. Tačiau skaičiuojant trumpus elementus ar didesnio skerspjūvio stygines konstrukcijas lenkiamasis standis turi poveikį ir į jį būtina atsižvelgti (Schlaich, Bögle *et al.* 2011).

Pirmosios styginių tiltų konstrukcijos

Naudojimui pastatytų styginių tiltų pasaulyje kol kas dar nėra, tačiau įvairūs bandymai atliekami jau daugiau nei dešimtmetį.

Vienas pirmųjų styginių konstrukcijų bandymas atliktas 2001 m. Maskvos apylinkėse, Rusijoje. Čia kelių metrų aukštyje įtempta metalinė 24 m tarpatramio konstrukcija buvo apkrauta 15 t svorio sunkvežimiu. Po poros metų 2003 m. toje pačioje vietoje iš plieno konstrukcijų buvo pastatytas 150 m ilgio su maksimaliu 48 m tarpatramiu tiltas. Savasis konstrukcijų svoris sudarė 120 kg/m, laikantieji lynai (strypai) įtempti 450 kN jėga, o judanti apkrova – tas pats 15 t sunkvežimis (1.14 ir 1.15 pav.). Šiuo bandymu buvo įrodyta, kad tinkamai suprojektuota lengva įtemptoji styginė konstrukcija gali atlaikyti ir didelę kintamą apkrovą.

Vėliau 2001 – 2009 m. buvo įgyvendinta daugiau nei 100-tas skirtingomis aplinkos sąlygomis ir įvairiomis apkrovomis veikiamų eksperimentų (1.16 pav.), įteisinti skaičiavimo metodai, parinktos specialios medžiagos ir optimalus projektavimas (Unitsky 2013).



1.14 pav. Antrasis įtemptos styginės konstrukcijos bandymas, 2003 m. (Unitsky 2006)



1.15 pav. Įtemptos styginės konstrukcijos (The story of the... 2009)



1.16 pav. Styginio transporto bandomieji modeliai (Unitsky 2008)

Vienas žinomiausių Europoje gelžbetoninių styginių konstrukcijų projektuotojų – Anatolijus Junitskis (*Anatoly Unitsky*). Daugiau nei 25 metus su šiomis konstrukcijomis dirbantis inžinierius yra parašęs daug straipsnių bei laimėjęs ne vieną pasaulinį apdovanojimą. Nors ir sukūręs daug ir įvairių projektų pasiūlymų iki šiandien nei vienas jų nėra įgyvendintas ir naudojamas.

1.3 Darbo tikslas ir uždaviniai

Šio baigiamojo magistro darbo tikslas – išanalizuoti iš anksto įtempto styginio plieninio tilto elgseną ir parinkti jo racionalius komponuojamuosius parametrus. Šiam tikslui pasiekti formuojami tokie darbo uždaviniai:

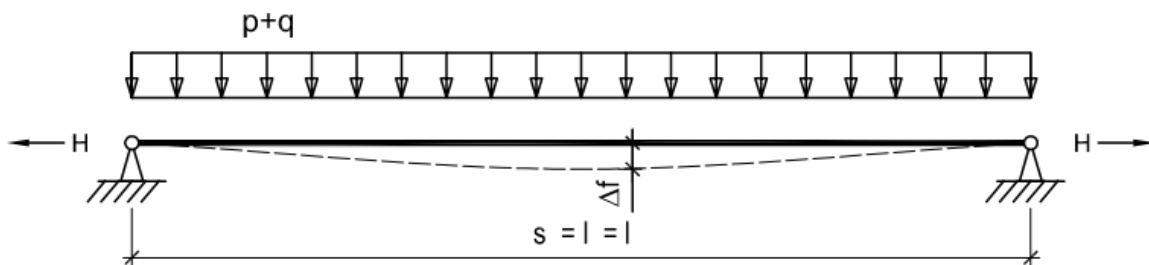
1. Apžvelgti esamų vienajuosčių tiltų konstrukcijas ir skaičiavimo metodus.
2. Apžvelgti galimas styginio tilto konstrukcines schemas.
3. Aptarti plieninio styginio tilto elgsenos analizės metodus.
4. Apžvelgti iš anksto įtemptų kabamųjų konstrukcijų skaičiavimo metodus.
5. Atlikti iš anksto įtemptų vieno tarpatramio styginių konstrukcijų elgsenos analizę.
6. Atlikti iš anksto įtemptų daugiaatramių styginių konstrukcijų elgsenos analizę.
7. Atlikti styginei konstrukcijai temperatūros sukeliama poveikio analizę.
8. Parengti tokios konstrukcijos įrąžų ir poslinkių reguliavimo būdus.
9. Parengti iš anksto įtemptos plieninės styginės tilto konstrukcijos inžinerinio skaičiavimo metodiką.

2 VIENO TARPATRAMIO STYGINIŲ KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ

Suprojektuoti iš anksto įtemptą styginę konstrukciją esant racionaliems komponuojamiems parametrams yra labai sudėtingas inžinerinis uždavinys ir tikslios inžinerinės metodikos nėra sukurta. Šiame skyriuje sugretinami inžineriniais ir skaitiniais metodais gauti, minios apkrova veikiant neįtemptą ir iš anksto įtemptą styginį tiltą, rezultatai. Taip pat aprašomas temperatūros poveikis styginei konstrukcijai vertinant nuolatinės bei laikinas apkrovas. Skyriaus pabaigoje pateikiamos trumpos išvados. Visi modeliuojami elementai turi ašinį standį, bet yra visiškai lankstūs, t.y. $EA \neq \infty$, bet $EI = 0$.

2.1 Neįtemptosios styginės konstrukcijos skaičiavimas taikant inžinerinius ir skaitinius metodus

Kad būtų lengviau suprasti, kaip veikia iš anksto įtemptoji styginė konstrukcija, pirmiausia nagrinėjama paprasta, iš anksto neįtempta styga, kuri abiejuose galuose įtvirtinta nepaslankiomis, tačiau leidžiančiomis laisvai pasisukti atramomis (2.1 pav.). Konstrukcija skaičiuojama kaip pėsčiųjų tiltas, todėl apkraunama išskirstyta pakloto ir minios apkrova. Pagrindinis skirtumas tarp neįtemptosios styginės ir paprastos dviatramės sijos – atrėmimo sąlygos, dėl kurių visiškai pasikeičia ir pačios konstrukcijos elgsena.



2.1 pav. Neįtemptos styginės konstrukcijos skaičiuojamoji schema

Vertikaliai apkrovus paprastą, viename gale lanksčiai įtvirtintą, o kitame gale laisvai atrėmtą siją joje atsiranda lenkimo momentas ir ji įsvyra, o atrėmimo taškuose atsiranda tik vertikalios atraminės reakcijos. Skaičiuojant konstrukciją, kaip geometriškai netiesinį elementą, horizontalia kryptimi paslanki atrama gali atitinkamai pasislinkti. Apkrovus lenkiamojo standžio neturinčią ir abiejuose galuose nepaslankiai įtvirtintą konstrukciją ji taip pat įsvyra, bet dėl atramų, varžančių horizontalius poslinkius, visoje konstrukcijoje atsiranda skėtimo jėgos, kurios perduodamos pamatams.

Siekiant parodyti kintančios apkrovos poveikį, skaičiuojant analitiškai ir skaitiškai nevertinamas savasis konstrukcijos elementų svoris, t.y. vertinama tik nuolatinė pakloto ir kintanti žmonių minios apkrova.

Analitinis metodas

Neįtemptosios stygos skaičiavimas analitiniu metodu praktiškai atitinka vienajuosčio kabamojo tilto skaičiavimą, kuriame pradinis lyno įsvyris f_0 priimamas lygus 0. Iš konstrukcijos pusiausvyros sąlygos gaunama skėtimo jėga H , kuri lygi:

$$H = \frac{(p+g)l^2}{8\Delta f}, \quad (2.1)$$

čia g – konstrukciją veikianti nuolatinė apkrova;

p – konstrukciją veikianti kintanti apkrova;

l – tarpatramio ilgis;

Δf – konstrukcijos tarpatramio vidurio vertikalus poslinkis po apkrovimo.

Geometrinis lyno pailgėjimas Δs_g po apkrovimo yra lygus tampriam lyno pailgėjimui Δs_{el} . Žinant, kad geometrinis lyno pailgėjimas yra lygus apkrauto lyno ilgio (s_1) ir pradinėje stadijoje esančio lyno ilgio (s_0) skirtumui, gaunama:

$$\Delta s_g = s_1 - s_0 \cong \left(l + \frac{8}{3} \cdot \frac{\Delta f^2}{l} \right) - l. \quad (2.2)$$

Tampriosios lyno deformacijos priklauso nuo elemente veikiančių skėtimo jėgų ir yra apytiksliai lygios:

$$\Delta s_{el} \cong \frac{Hl}{EA}, \quad (2.3)$$

čia E – lyno tamprumo modulis;

A – lyno skerspjūvio plotas.

Projektuojant neįtemptą styginę konstrukciją, kaip ir daugelį kitų konstrukcijų, sprendžiamas atvirkštinis inžinerinis uždavinys. Elemento skerspjūvio plotas parenkamas toks, kad būtų tenkinama ribinio įlinkio (standumo) sąlyga:

$$\Delta f_{max} \leq \Delta f_u, \quad (2.4)$$

čia Δf_{max} – maksimalus konstrukcijos poslinkis po apkrovimo;

Δf_u – ribinis konstrukcijos poslinkis atsižvelgiant į eksploatacinius reikalavimus.

Taikant žinomą deformacijų darnos lygtį (2.5) gaunama (2.6) lygybė, į kurią įrašius (2.1) formulę nesunkiai išsireiškiamas konstrukcijos tarpatramio vidurio taško vertikalus poslinkis bei visame elemente veikianti skėtimo jėga ((2.7) ir (2.8) formulės).

$$\Delta s_g - \Delta s_{el} = 0; \quad (2.5)$$

$$\frac{8}{3} \cdot \frac{\Delta f^2}{l} = \frac{Hl}{EA}; \quad (2.6)$$

$$\Delta f = \sqrt[3]{\frac{3}{64} \cdot \frac{(p+q)l^4}{EA}}; \quad (2.7)$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{1}{24} \cdot EA \cdot (p + q)^2 l^2}. \quad (2.8)$$

Pagal tarpatramio ilgį (15 m, 20 m, 25 m) ir atitinkamas ribinio poslinkio sąlygas (1/400, 1/200, 1/100) konstrukcijoms parenkami reikalingi minimalūs skerspjuvio plotai. Apskaičiuojama tose konstrukcijose atsirandanti skėtimo jėga ir įtempiai, o gauti duomenys pateiki 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Neįtemptosios styginės konstrukcijos analitinio ir skaitinio metodo skaičiavimo rezultatų palyginimas

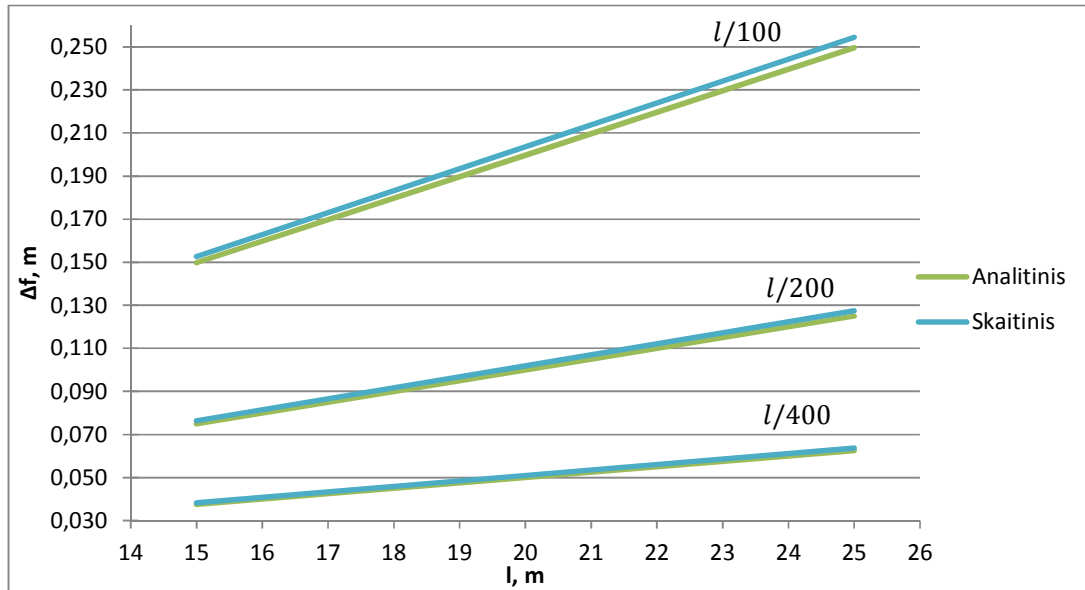
Ribinio įlinkio sąlyga	L, m	g+p, kN/m	Δf ₀ , m	E, kPa	A, m ²	Δf _{el} , m			H, kN			σ, MPa		
						Analitinis	Skaitinis	Skirtumas	Analitinis	Skaitinis	Skirtumas	Analitinis	Skaitinis	Skirtumas
1/400	25	7,58	0,0625	2,1E+08	2,7075	0,0625	0,0637	-1,956%	9475,417	9475,89	-0,005%	3,4997	3,5	-0,009%
	20	7,58	0,05	2,1E+08	2,166	0,0500	0,0510	-1,964%	7580,333	7580,33	0,000%	3,4997	3,5	-0,009%
	15	7,58	0,0375	2,1E+08	1,625	0,0375	0,0382	-1,962%	5685,833	5685,83	0,000%	3,499	3,5	-0,029%
1/200	25	7,58	0,125	2,1E+08	0,3385	0,1250	0,1274	-1,963%	4738,0	4738,0	0,000%	13,997	14,0	-0,021%
	20	7,58	0,1	2,1E+08	0,2710	0,1000	0,1019	-1,956%	3791,333	3791,33	0,000%	13,990	13,99	0,001%
	15	7,58	0,075	2,1E+08	0,2035	0,0749	0,0764	-1,958%	2844,665	2844,67	-0,000%	13,979	13,98	-0,009%
1/100	25	7,58	0,25	2,1E+08	0,0425	0,2496	0,2545	-1,961%	2372,494	2372,49	0,000%	55,823	55,82	0,006%
	20	7,58	0,2	2,1E+08	0,034	0,1997	0,2036	-1,961%	1897,995	1898,0	-0,000%	55,823	55,82	0,006%
	15	7,58	0,15	2,1E+08	0,0255	0,1498	0,1527	-1,961%	1423,496	1423,5	-0,000%	55,823	55,82	0,006%

Skaitinis metodas

Skaitiniais metodais neįtemptosios stygos analizuojamos baigtinių elementų programa Autodesk Robot Structural Analysis. Konstrukcijos modeliuojamos tokio pat tarpatramio ilgio ir standumo sąlygų, kaip ir skaičiuojant inžineriniu metodu, o skerspjuvio plotas parenkamas toks pat, koks kiekvienam tarpatramiui gautas suskaičiavus analitiškai. Gauti rezultatai taip pat pateikiami 2.1 lentelėje.

Rezultatų sugretinimas

Kaip galima matyti iš 2.1 lentelėje pateiktų duomenų ir 2.2 paveikslo diagramos, analitinio ir skaitinio metodų rezultatai praktiškai sutampa. Didžiausia paklaida gaunama lyginant konstrukcijų poslinkius (beveik iki 2 %), o skėtimo jėgos ir įtempiai sutampa. Tačiau iš gautų skaitinių rezultatų galima matyti, kad nors įtempiai ir yra labai maži, tačiau esant mažiems ribinio poslinkio reikalavimams minimalus skerspjūvio plotas labai padidėja, o projektuojama konstrukcija masės požiūriu yra neracionali.



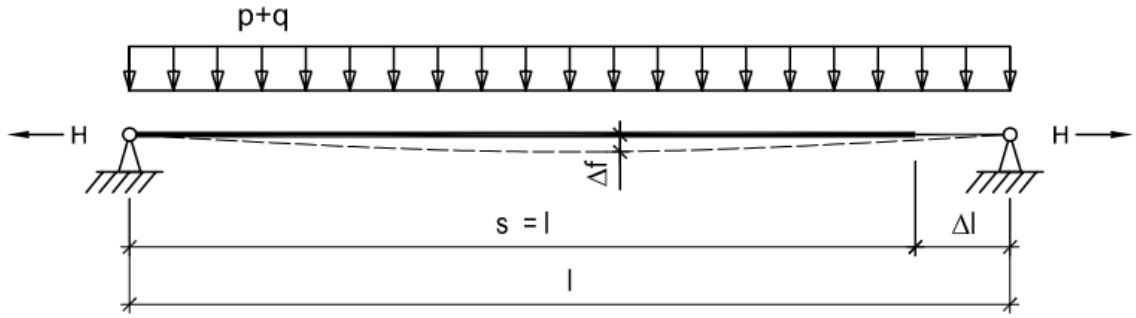
2.2 pav. Neįtemptosios stygos vidurio taško poslinkio priklausomybė nuo tarpatriamio ilgio esant skirtingoms ribinio poslinkio sąlygoms

Mažinant ribinio įlinkio sąlygą minimalus skerspjūvio plotas ir elemente atsirandanti skėtimo jėga sumažėja, o įtempiai išauga. Esant standumo sąlygai $l/100$ bet kokio tarpatriamio ilgio konstrukcijos įtempiai neviršija 56 MPa ribos, todėl galima teigti, kad projektuojant styginę, iš anksto neįtemptąją konstrukciją naudoti plieną nėra būtina. Tokio tipo pėsčiųjų tiltams racionalu būtų naudoti lengvesnes, pigesnes ir mažesnio stiprio medžiagas.

2.2 Iš anksto įtemptosios styginės konstrukcijos skaičiavimas taikant inžinerinius ir skaitinius metodus

Kaip įrodyta 2.1 poskyryje, projektuojant absoliučiai lankstų ir neįtemptąją styginį pėsčiųjų tiltą mažus įtempius lemia didelis skerspjūvio plotas, kuris reikalingas konstrukcijos ribinio poslinkio sąlygai užtikrinti. Norint pasiekti didesnę ekonomiškumą ir sumažinti skerspjūvio plotą, tačiau tuo pačiu tenkinti ir ribinių poslinkių sąlygas, styginius elementus galima iš anksto įtempti. Toliau šiame poskyryje ir bus modeliuojamas bei

analizuojamas išankstinio įtempimo jėgų poveikis konstrukcijos poslinkiams, įrašoms ir įtempiams (2.3 pav.).



2.2 pav. Iš anksto įtemptos styginės konstrukcijos skaičiuojamoji schema

Iš anksto įtemptą styginę konstrukciją galima skaičiuoti ir remiantis formulėmis. Kaip ir neįtemptojoje stygoje, konstrukcijos skėtimo jėga gaunama iš pusiausvyros lygties:

$$H_1 = \frac{(p+q)l^2}{8 \cdot \Delta f}, \quad (2.9)$$

čia H_1 – skėtimo jėga įtemptame ir apkrautame elemente.

Pradinis elemento ilgis s_0 (l_0) yra mažesnis, negu tarpatramio ilgis l . Iš anksto įtempus lyną, jo ilgis s_T bus lygus visam tarpatramio ilgiui:

$$s_T = l = s_0 + \Delta l, \quad (2.10)$$

čia l – tarpatramio ilgis;

Δl – išankstinės įtempimo jėgos T sukeltas lyno pailgėjimas:

$$\Delta l = \frac{T \cdot s_0}{EA}. \quad (2.11)$$

Tuomet įtempto lyno ilgis po apkrovimo s_1 bus lygus jo pradinio ilgio s_0 , tampriojo pailgėjimo (Δs_{el}) nuo atsirandančios skėtimo jėgos H ir pailgėjimo nuo išankstinės įtempimo jėgos T narių sumai:

$$s_1 = s_T + s_{el} = s_0 + \Delta l + \Delta s_{el}. \quad (2.12)$$

Kaip minėta, tamprųjį lyno pailgėjimą sukelia tik skėtimo jėga elemente, o įtemptoje konstrukcijoje po apkrovimo atsirandanti skėtimo jėga H_1 gali būti išreikšta taip:

$$H_1 = T + H, \quad (2.13)$$

čia T – išankstinio įtempimo jėga;

H – skėtimo jėga nuo išorinės apkrovos.

Tuomet tamprusis lyno pailgėjimas:

$$\Delta s_{el} = \frac{(H_1 - T)l}{EA}. \quad (2.14)$$

Sulyginus žinomą netiesinio skaičiavimo lyno ilgio po apkrovimo formulę su (2.12) formule gaunama (2.15) lygybė, o suprastinus narius ir įrašius (2.14) formulę gaunama (2.16) lygybė:

$$s_0 + \Delta l + \Delta s_{el} = l + \frac{8}{3} \cdot \frac{\Delta f^2}{l}, \quad (2.15)$$

$$\frac{(H_1 - T)l}{EA} = \frac{8}{3} \cdot \frac{\Delta f^2}{l}. \quad (2.16)$$

Iš šios formulės galima aiškiai matyti išankstinio įtempimo jėgos ir konstrukcijos įsvyrio netiesinį ryšį, o įrašius vieną (2.9) formulės išraišką gauti formules iš anksto įtemptosios konstrukcijos poslinkiui ar joje veikiančiai skėtimo jėgai apskaičiuoti:

$$\Delta f = \sqrt[3]{\frac{3}{64} \cdot \frac{(p+q)l^4(1-\beta)}{EA}}, \quad (2.17)$$

$$H_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{24} \cdot \frac{EA \cdot (p+q)^2 l^2}{(1-\beta)}}. \quad (2.18)$$

Šios formulės, nuo poslinkio ir skėtimo jėgos neįtemptojoje konstrukcijoje ((2.7) ir (2.8) formulių) skiriasi tik dydžiu $(1 - \beta)$, kurioje per koeficientą β išreiškiamas įtempimo ir skėtimo jėgos santykis:

$$\beta = \frac{T}{H_1}. \quad (2.19)$$

(2.17) ir (2.18) formulės aiškiai parodo, kad netiesinė konstrukcijos deformacija ir įrąžą priklauso ne tik nuo tarpatramio ilgio, veikiančios apkrovos, bet ir nuo išankstinio įtempimo T . Šį dydį taip pat galima analitiškai apskaičiuoti žinant konstrukcijos tarpatramio ilgį ir poslinkį:

$$T = \frac{(p+q)l^2}{8 \cdot \Delta f} - \frac{8}{3} \cdot \frac{\Delta f^2 \cdot EA}{l^2}. \quad (2.20)$$

Išsivedus svarbiausias analitines įtemptos stygos skaičiavimo išraiškas toliau galima praktiškai jas panaudoti.

2.2.1 Išankstinio įtempimo poveikis mažinant konstrukcijos vertikalųjį poslinkį ir nekeičiant skerspjuvio ploto

Pirmiausia analitiškai ir skaitiškai modeliuojamos absoliučiai lanksčios stygos, kurios, parinkus minimalų, neįtemptai konstrukcijai esant tenkinančiai ribinio poslinkio sąlygas, skerspjuvio plotą, laipsniškai įtempiamos išankstine jėga, kurios dydis lygus 20 %, 25 %, 40 %, 50 %, 60 %, 75 %, 80 %, 85 %, 90 % bei 95 % elemente atsirandančios skėtimo jėgos. Stebima, kaip kinta lyno maksimalus poslinkis, skėtimo jėga bei įtempiai.

Analitinis metodas

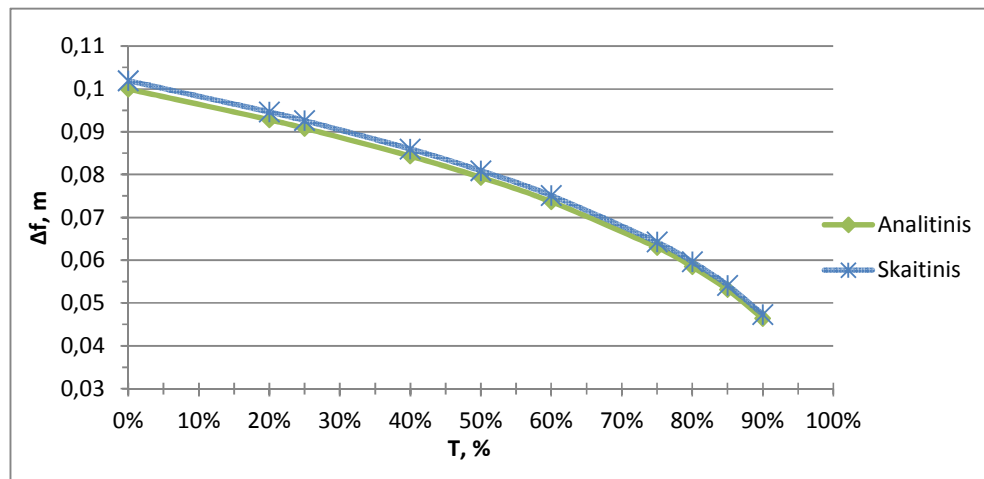
Pagal iš anksto įtemptų styginių konstrukcijų skaičiavimo formules modeliuojamos trijų skirtingų tarpatramių (15 m, 20 m, 25 m) ir trijų ribinių poslinkių sąlygų ($l/400$, $l/200$, $l/100$) styginės konstrukcijos. Suskaičiuojami poslinkiai, įrašos ir įtempiai, o rezultatai pateikiami A.1 lentelėje.

Skaitinis metodas

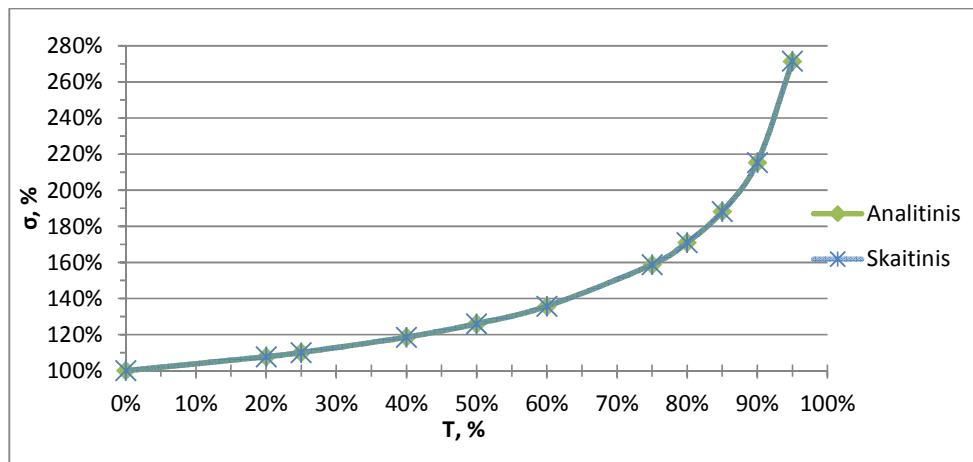
Baigtinių elementų programa Autodesk Robot Structural Analysis modeliuojamos tokių pat, kaip ir inžineriniu metodu apskaičiuotos, geometrinių parametrų įtemptosios stygos. Gauti rezultatai taip pat pateikiami A.1 lentelėje.

Rezultatų sugretinimas

Atlikus analitinius ir skaitinius skaičiavimus visais atvejais gaunamos paklaidos yra minimalios. Didžiausios, tačiau net 2 % nesiekiančios paklaidos gaunamos lyginant elementų poslinkius. Grafiškai poslinkio reikšmių mažėjimas didinant išankstinio įtempimo jėgą, kai stygos ilgis 20 m, o ribinio poslinkio sąlyga $l/200$, abiem atvejais (analitiniu ir skaitiniu) pateiktas 2.4 paveiksle, o įtempių didėjimas tokio pat ilgio ir ribinio poslinkio elementui procentais pateiktas 2.5 paveiksle.



2.4 pav. 20 m tarpatramio stygos įlinkio priklausomybė nuo išankstinės įtempimo jėgos, kai elemento skerspjūvio plotas išlieka pastovus



2.5 pav. 20 m tarpatramio stygos įtempių priklausomybė nuo išankstinės įtempimo jėgos, kai elemento skerspjūvio plotas išlieka pastovus

Analizuojant gautus rezultatus galima pastebėti, kad kuo ilgesnė styga, tuo didesnė skėtimo jėga atsiranda elemente. Taip pat, didinant išankstinį įtempimą stygoje ir nekeičiant jos pradinio skerspjūvio ploto elemento poslinkis visais atvejais, nepriklausomai nuo tarpatramio ilgio ir standumo sąlygų, sumažėja daugiau negu 4,5 karto. Tuo pačiu atitinkamai išauga ir skėtimo jėga bei įtempiai. Didėjanti skėtimo jėga turi neigiamą poveikį tilto konstrukcijoms, kadangi jai reikalingi masyvesni pamatai. Išaugusi skėtimo jėga taip pat proporcingai padidina ir įtempius, tačiau dėl didelio skerspjūvio ploto, kuris, kaip jau buvo minėta, didinant išankstinį įtempimą nekeičiamas, jie vis tiek yra sąlyginai maži ir tokioms konstrukcijoms naudoti plieną ar kitokias stipresnes medžiagas nėra būtina.

2.2.2 Išankstinio įtempimo poveikis mažinant konstrukcijos skerspjūvio plotą ir nekeičiant jos ribinio poslinkio

Didelis skerspjūvio plotas nėra ekonomiškai naudingas, o išankstinio įtempimo poveikis elemento poslinkius labai mažina. Tačiau norit projektuoti visais požiūriais racionalias konstrukcijas jų skerspjūvio plotas turi būti mažinamas, o maksimalios deformacijos Δf_{max} būti kuo artimesnės ribinėms poslinkių sąlygoms Δf_u .

Vadovaujantis šiuo principu analitiškai ir skaitiškai modeliuojamos 15 m, 20 m ir 25 m iš anksto įtemptosios pėsčiųjų tilto styginės konstrukcijos, kurių maksimalūs poslinkiai, esant bet kokio dydžio išankstiniam įtempimui, yra ribiniai, t.y. $\Delta f_{max} = \Delta f_u$ esant bet kokiam ilgiui ir ribinio poslinkio sąlygai ($l/400, l/200, l/100$). Kaip ir ankstesniuose skaičiavimuose vertinamos tik nuolatinė pakloto ir kintanti minios apkrovos, o į savąjį stygos svorį nėra atsižvelgiama.

Analitinis metodas

Remiantis iš anksto įtemptųjų styginių konstrukcijų skaičiavimo formulėmis skaičiuojami 15 m, 20 m, 25 m dydžio tarpatramiams reikalingi minimalūs, ribines poslinkio sąlygas tenkinantys skerspjūvio plotai A_{min} ((2.21) formulė).

$$A_{min} = \frac{3}{64} \cdot \frac{pl^4(1-\beta)}{E \cdot \Delta f_u^3}, \quad (2.21)$$

čia β – išankstinio įtempimo jėgos T ir įtemptame bei apkrautame elemente veikiančios skėtimo jėgos H_1 santykis.

Taip pat apskaičiuojama elementuose veikianti skėtimo jėga ir įtempiai, o gauti rezultatai pateikiami A.2 lentelėje.

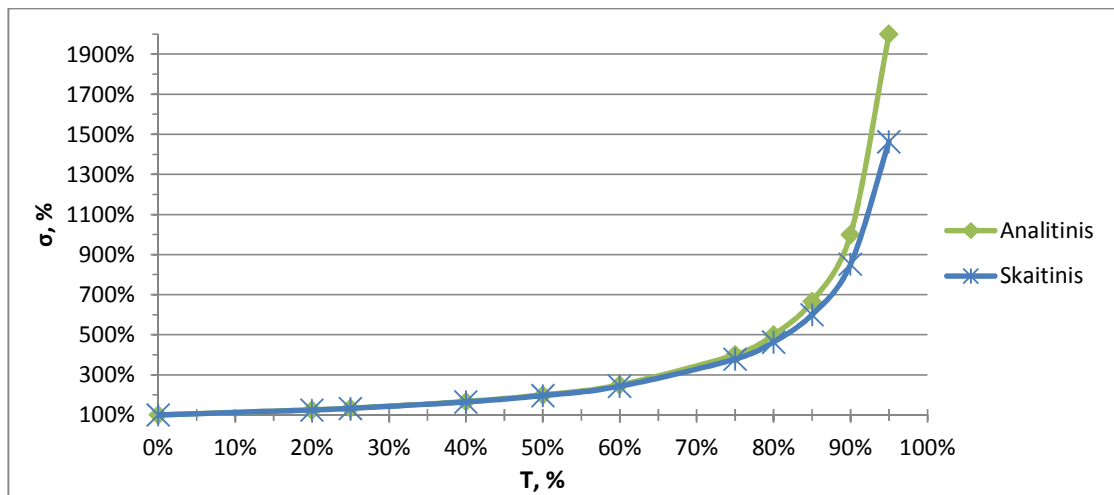
Skaitinis metodas

Skaitiniu metodu gauti rezultatai pateikiami kartu su analitinių skaičiavimų rezultatais A.2 lentelėje.

Rezultatų sugretinimas

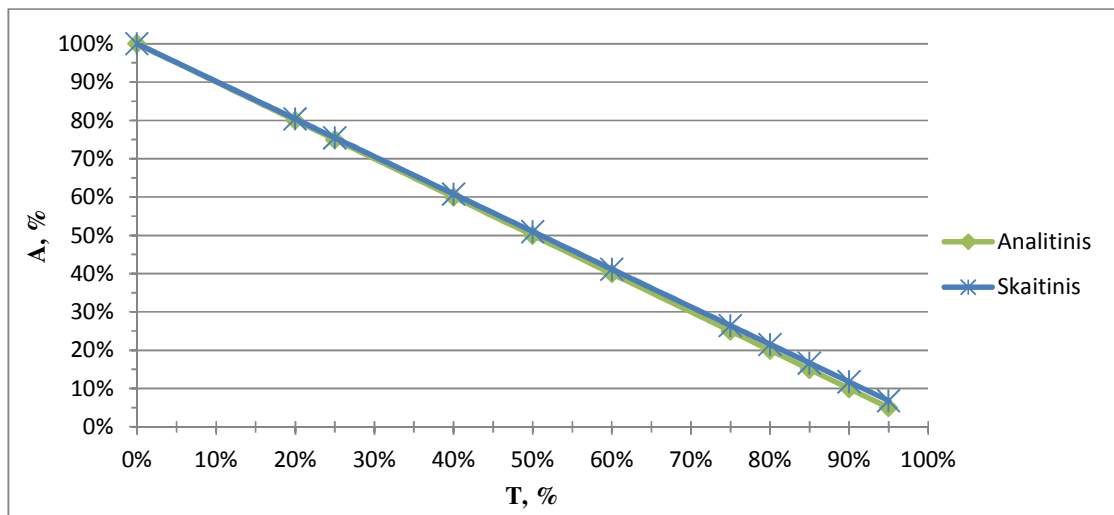
Iš gautų rezultatų matyti, kad skirtumas tarp inžinerinio ir skaitinio skaičiavimų šiuo atveju didesnis, nei prieš tai analizuotuose elementuose. Kuo labiau didinama išankstinio įtempimo jėga, tuo didesnis skirtumas gaunamas tarp analitiškai ir skaitiškai apskaičiuoto reikalingo skerspjūvio ploto bei įtempių elemente. Styginių elementų skėtimo jėgų rezultatai tarp abiejų skaičiavimų didinant išankstinį įtempimą nekinta ir išlieka sąlyginai vienodi (visais atvejais $\approx 1,9\%$).

Įtempių augimo priklausomybė, apskaičiuota analitiškai ir skaitiškai, nuo išankstinio įtempimo jėgos grafiškai pateikta 2.6 paveiksle. Iš jo galima matyti, kad įtempių priklausomybė nuo išankstinio įtempimo jėgos yra netiesinė ir labai padidėja artėjant prie 100 % išankstinio įtempimo. Kaip minėta anksčiau, taip pat padidėja ir skirtumas tarp inžinerinio skaičiavimo ir baigtinių elementų programos modelio rezultatų.



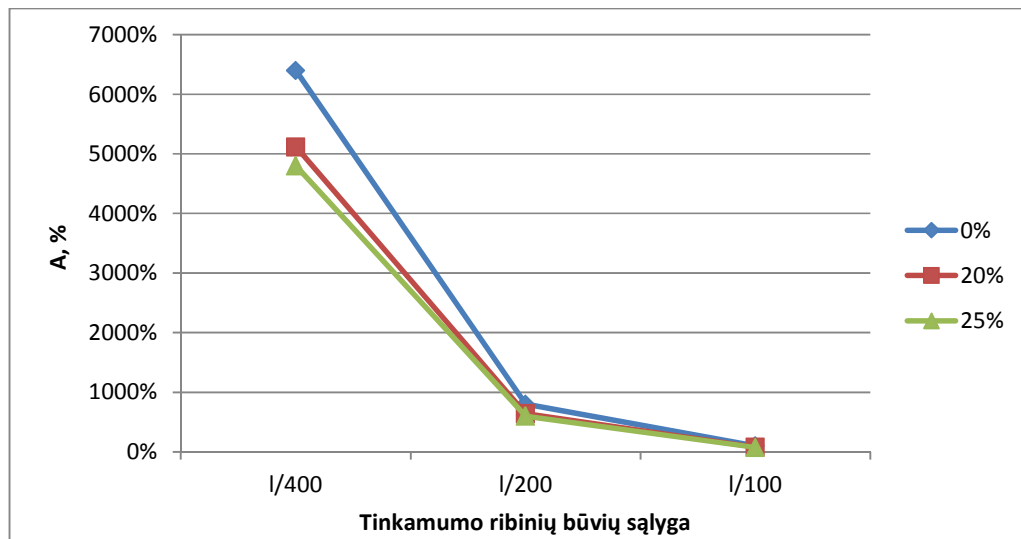
2.6 pav. Įtempių priklausomybė nuo išankstinės įtempimo jėgos, kai stygos ribinis poslinkis yra pastovus

Iš 2.7 paveikslė pateikto grafiko matyti, kad stygos skerspjūvio ploto priklausomybė nuo išankstinio įtempimo jėgos kinta tiesiškai – didėjant įtempimui skerspjūvio plotas tolygiai mažėja. Pasiekus 95 % išankstinio įtempimo dydį analitiškai apskaičiuotas reikalingas skerspjūvio plotas sumažėja iki 5 %, o skaitiškai apskaičiuotas iki 7 % pradinio skerspjūvio ploto, kai projektuojama styga neturi išankstinio įtempimo. Šie rezultatai yra vienodi visų tarpatramių ir visų ribinio poslinkio sąlygų stygoms.



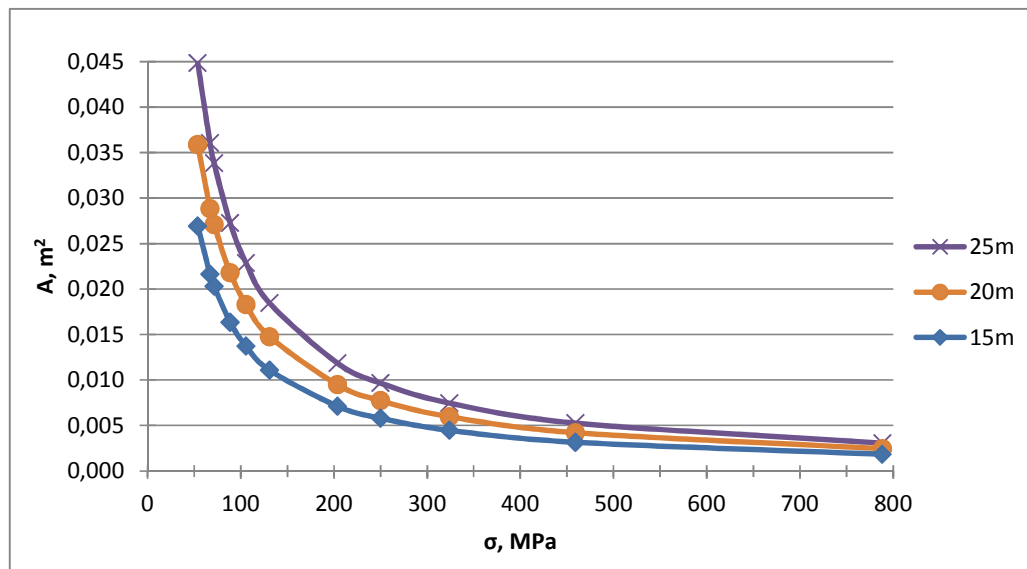
2.7 pav. Stygos skerspjūvio ploto priklausomybės nuo išankstinės įtempimo jėgos grafikas

Atsižvelgiant į tinkamumo ribinių būvių sąlygas, kuo jos griežtesnės, tuo reikalingas didesnis skerspjūvio plotas ir kartu, kuo didesnis išankstinis stygos įtempimas, tuo skerspjūvio plotas mažėja (2.8 pav.). Neįtemptos $l/100$ ribinio poslinkio sąlygos stygos skerspjūvio plotas yra 1,33 karto didesnis už tokių pat sąlygų 25 % skėtimo jėga įtemptos stygos skerspjūvio plotą ir net 48 kartus mažesnis už $l/400$ ribinio poslinkio sąlygos, 25 % skėtimo jėga įtemptos stygos skerspjūvio plotą.

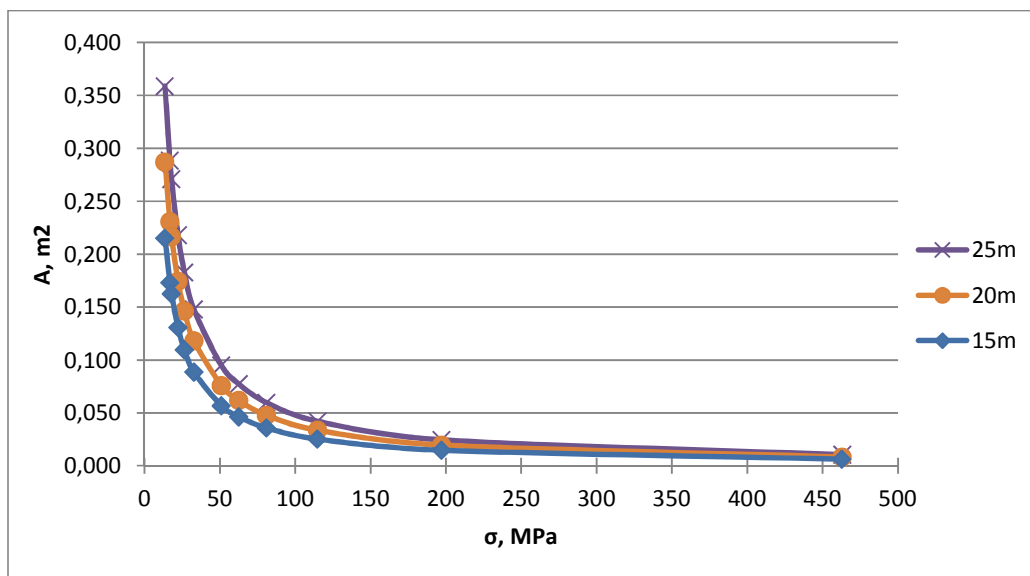


2.8 Pav. Stygos skerspjūvio ploto priklausomybė nuo tinkamumo ribinių būvių sąlygos esant skirtingam pradiniam stygos įtempimui

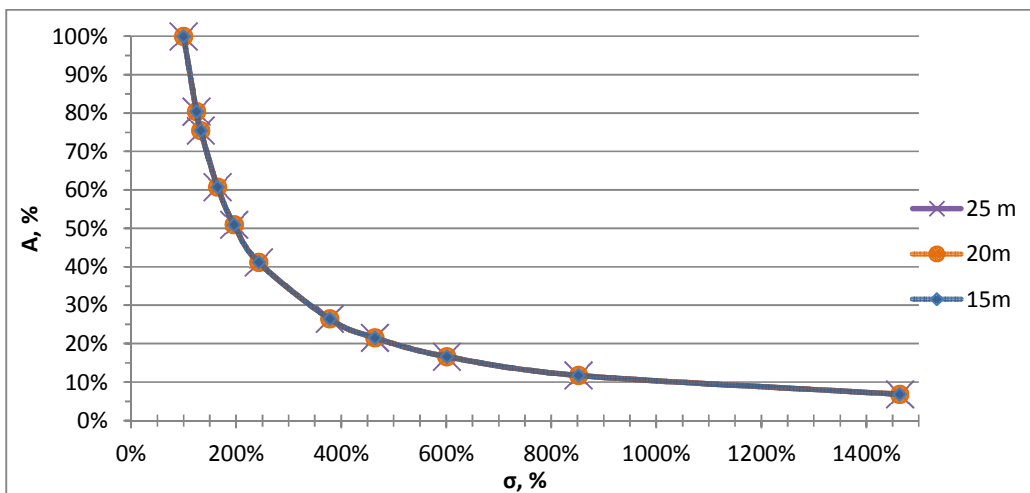
Kaip įrodyta anksčiau didinant išankstinį stygos įtempimą netiesiškai auga joje atsirandantys įtempiai ir kartu mažėja atitinkamoms ribinio poslinkio sąlygoms tenkinti reikalingas skerspjūvio plotas. 2.9 ir 2.10 paveiksluose grafiškai pavaizduotas nuo įtempių priklausantis minimalus reikalingas elemento skerspjūvio plotas, kai stygos ribiniai poslinkiai atitinkamai yra $l/100$ ir $l/200$. Procentinė priklausomybė tarp skerspjūvio ploto ir įtempių visais standumo atvejais yra vienoda ir taip pat kinta netiesiškai (2.11 pav.). Įtempiams padidėjus apie 25 %, skerspjūvio plotas sumažėja 20 %, o įtempiams padidėjus 50 % – minimalus skerspjūvio plotas sumažėja net iki 80 %. Tai pagrindinė įtemptos styginės konstrukcijos savybė.



2.9 pav. Stygos skerspjūvio ploto priklausomybė nuo įtempių, kai stygos ribinis santykinis poslinkis yra $l/100$



2.10 pav. Stygos skerspjūvio ploto priklausomybė nuo įtempių, kai stygos ribinis santykinis poslinkis yra $l/200$



2.11 pav. Procentinė stygos skerspjūvio ploto priklausomybė nuo įtempių, esant bet kokioms ribinėms santykinėms poslinkio sąlygoms ir tarpatramio ilgiui

Nagrinėjant neįtemptąją stygą, buvo įrodyta, kad projektuojant konstrukcijas pagal tinkamumo ribinį būvį elementuose atsirandantys įtempiai yra labai maži ir naudoti plieno neverta, tačiau dėl didelio skerspjūvio ploto tokios konstrukcijos tampa neefektyvios ir neekonomiškos. Iš anksto įtemptojoje stygoje, priklausomai nuo įtempimo jėgos ir tinkamumo ribinių būvių sąlygos, skerspjūvio plotas žymiai sumažėja ir atsiranda daug didesni įtempiai, todėl reikalingas didesnis taikomos medžiagos stipris. Šiuo atveju panaudojus stiprųjį plieną konstrukcijos būtų žymiai efektyvesnės, ekonomiškesnės ir būtų išnaudojama pagrindinė plieno medžiagos savybė – jo didelis stipris.

2.3 Temperatūros poveikis styginei konstrukcijai

Visos konstrukcijos gamtoje yra veikiamos ne tik nuolatinių ar laikinųjų naudojimo apkrovų, bet ir kintamų aplinkos poveikių: saulės, lietaus, sniego, vėjo. Viena pavojingiausių iš šių apkrovų įtemptajai styginei konstrukcijai – temperatūros poveikis. Kylant aplinkos temperatūrai visi plieniniai elementai plečiasi, o krentant traukiasi, tačiau toks konstrukcijų pulsavimas paprastoms dviatramėms sijoms nėra pavojingas. Jose deformacijų pokytį kompensuoja judri atrama, kuri pasislinkdama į vieną arba į kitą pusę užgesina konstrukcijoje galinčias atsirasti tempimo arba gniuždymo įrašas. Nepaslankiomis atramomis galuose įtvirtinta styga laisvai judėti negali, todėl temperatūros pokyčiai verčia tokią konstrukciją deformuotis didėjant arba mažėjant jos vertikaliam poslinkiui. Jam kintant kartu mažėja arba didėja skėtimo jėga elemente bei atitinkamai keičiasi įtempiai.

Šiame poskyryje bus analizuojama vieno tarpatramio neįtemptosios ir įtemptosios styginės konstrukcijos priklausomybė nuo teigiamo ir neigiamo temperatūros pokyčio, kai ji apkrauta tik nuolatine arba nuolatine ir laikinąja naudojimo apkrova.

2.3.1 Neįtemptosios stygos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio

Baigtinių elementų programa Autodesk Robot Structural Analysis modeliuojamos aštuonios, skirtingo tarpatramio ilgio ($l = 15 \text{ m}, 20 \text{ m}, 25 \text{ m}, 30 \text{ m}, 35 \text{ m}, 40 \text{ m}, 45 \text{ m}$ ir 50 m) neįtemptosios stygos. Priiman, kad konstrukcijų montavimo temperatūra 0°C joms suteikiamas temperatūros poveikis, kuris aplinkoje gali svyruoja nuo -40°C iki $+40^\circ\text{C}$. Toliau pateikiami skaičiavimo duomenys, grafikai ir rezultatų palyginimas.

Temperatūros poveikis veikiant tik nuolatinei apkrovai

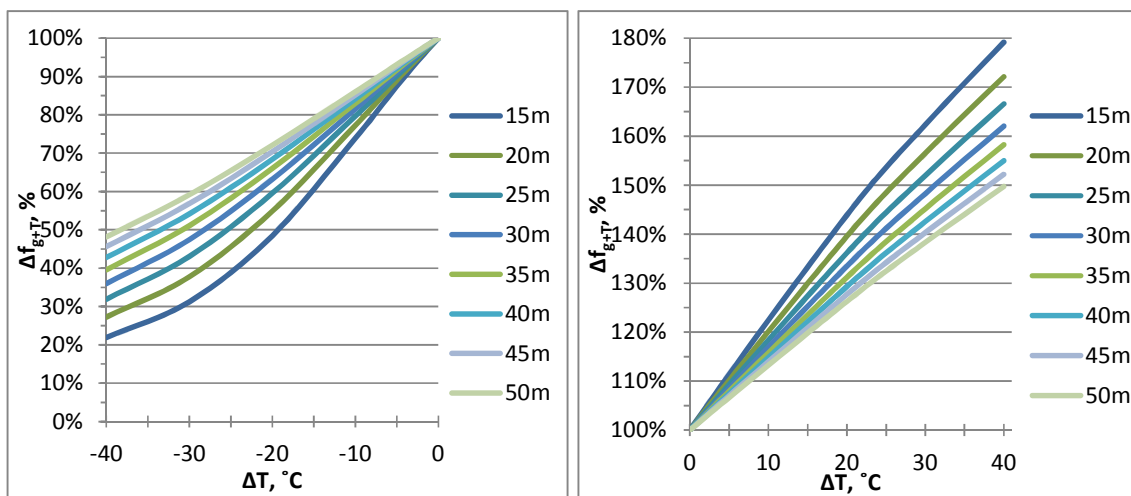
Pirmiausia modeliuojamos stygos, kurios yra veikiamos tik nuolatinės apkrovos (savojo konstrukcijos ir pakloto svorio) ir temperatūros poveikio. Jų skerspjūvio plotas parenkamas toks, kad esant montuojamai temperatūrai ir veikiant nuolatinei bei kintamai apkrovoms maksimalus įlinkis neviršytų $l/100$ ribinio poslinkio sąlygos. Gauti poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempių rezultatai veikiant skirtingoms temperatūroms pateikiami 2.2 lentelėje, o grafiškai poslinkių ir įrašų priklausomybės pateiktos 2.12 ir 2.13 paveiksluose.

2.2 lentelė. Neįtemptosios styginės konstrukcijos poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempimų pokytis dėl temperatūros poveikio (absoliutinių dydžių ir procentais), kai veikia tik nuolatinė apkrova

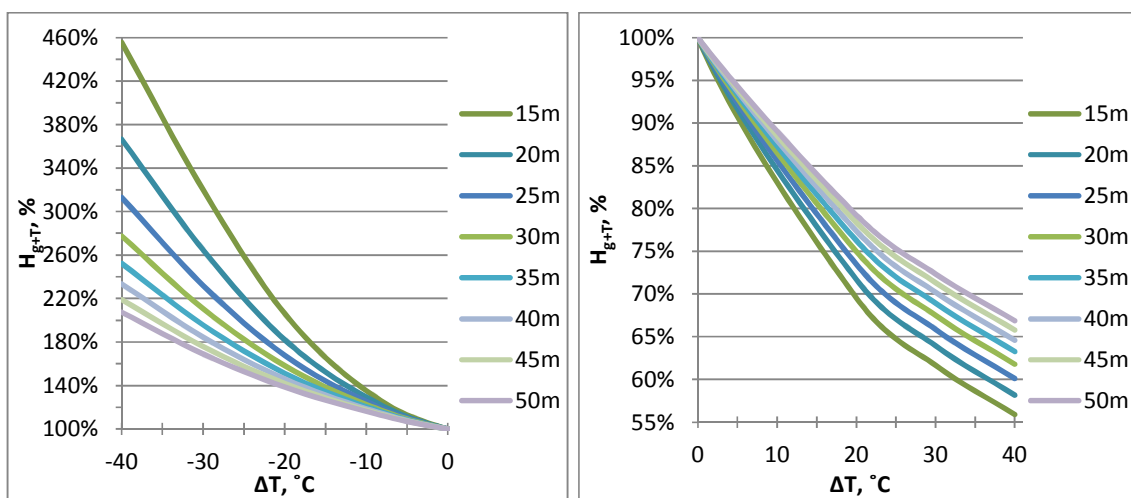
L_i, m	A, m^2	$\Delta f, m$													
		—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
		Δf_{g+T}	%	Δf_{g+T}	%	Δf_{g+T}	%	Δf_g	%	Δf_{g+T}	%	Δf_{g+T}	%	Δf_{g+T}	%
15	0,2035	0,0286	21,9%	0,0407	31,2%	0,0632	48,5%	0,1303	100%	0,1874	143,9%	0,2115	162,3%	0,2334	179,2%
20	0,2710	0,0498	27,3%	0,0690	37,8%	0,1003	54,9%	0,1828	100%	0,2550	139,5%	0,2861	156,5%	0,3146	172,1%
25	0,3385	0,0761	31,9%	0,1028	43,1%	0,1421	59,6%	0,2386	100%	0,3248	136,2%	0,3625	152,0%	0,3974	166,6%
30	0,4065	0,1070	36,0%	0,1410	47,4%	0,1878	63,2%	0,2973	100%	0,3967	133,5%	0,4408	148,3%	0,4817	162,0%
35	0,4740	0,1420	39,6%	0,1832	51,1%	0,2369	66,1%	0,3586	100%	0,4705	131,2%	0,5207	145,2%	0,5675	158,2%
40	0,5415	0,1807	42,8%	0,2289	54,2%	0,2890	68,4%	0,4224	100%	0,5462	129,3%	0,6022	142,6%	0,6547	155,0%
45	0,6095	0,2228	45,6%	0,2776	56,8%	0,3438	70,4%	0,4884	100%	0,6235	127,7%	0,6852	140,3%	0,7433	152,2%
50	0,6770	0,2680	48,2%	0,3291	59,1%	0,4011	72,1%	0,5564	100%	0,7026	126,3%	0,7697	138,3%	0,8332	149,7%
L_i, m		H, kN													
		—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
		H_{g+T}	%	H_{g+T}	%	H_{g+T}	%	H_g	%	H_{g+T}	%	H_{g+T}	%	H_{g+T}	%
15		15798,8	456%	11095,9	320%	7149,9	206%	3468,4	100%	2412,1	69,5%	2138,7	61,7%	1938,9	55,9%
20		21430,5	367%	15467,9	265%	10647,7	182%	5846,1	100%	4192,1	71,7%	3738,3	63,9%	3400,9	58,2%
25		27350,7	313%	20265,8	232%	14657,6	168%	8735,1	100%	6418,9	73,5%	5753,0	65,9%	5250,6	60,1%
30		33631,7	278%	25522,9	211%	19170,0	158%	12116,3	100%	9084,9	75,0%	8179,1	67,5%	7486,6	61,8%
35		40210,2	252%	31170,6	196%	24112,8	151%	15935,4	100%	12153,0	76,3%	10985,6	68,9%	10082,6	63,3%
40		47135,8	234%	37227,7	184%	29486,1	146%	20183,8	100%	15618,7	77,4%	14170,0	70,2%	13037,5	64,6%
45		54456,7	219%	43718,3	176%	35300,5	142%	24863,9	100%	19485,3	78,4%	17736,8	71,3%	16356,9	65,8%
50		62084,6	207%	50560,7	169%	41484,4	139%	29921,4	100%	23711,2	79,2%	21649,3	72,4%	20007,8	66,9%
L_i, m		σ, MPa													
		—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
		σ_{g+T}	%	σ_{g+T}	%	σ_{g+T}	%	σ_{g+T}	%	σ_{g+T}	%	σ_{g+T}	%	σ_{g+T}	%
15		77,64	456%	54,53	320%	35,13	206%	17,04	100%	11,85	69,5%	10,51	61,7%	9,53	55,9%
20		79,08	367%	57,08	265%	39,29	182%	21,57	100%	15,47	71,7%	13,79	63,9%	12,55	58,2%
25		80,80	313%	59,87	232%	43,30	168%	25,81	100%	18,96	73,5%	17,00	65,9%	15,51	60,1%
30		82,73	278%	62,79	211%	47,16	158%	29,81	100%	22,35	75,0%	20,12	67,5%	18,42	61,8%
35		84,83	252%	65,76	196%	50,87	151%	33,62	100%	25,64	76,3%	23,18	68,9%	21,27	63,3%
40		87,05	234%	68,75	184%	54,45	146%	37,27	100%	28,84	77,4%	26,17	70,2%	24,08	64,6%
45		89,35	219%	71,73	176%	57,92	142%	40,79	100%	31,97	78,4%	29,10	71,3%	26,84	65,8%
50		91,71	207%	74,68	169%	61,28	139%	44,20	100%	35,02	79,2%	31,98	72,4%	29,55	66,9%

Iš temperatūros – poslinkių grafiko matyti, kad veikiant teigiamai ar neigiamai temperatūrai neįtemptoji styginė konstrukcija deformuojasi labai panašiai: temperatūrai padidėjus 20 °C 15 m ilgio styga įsvyra 1,44 karto daugiau, o sumažėjus 20 °C tokio pat ilgio styga įsvirs 0,51 karto mažiau (40 m ilgio styga, esant tokiam pat teigiamam temperatūros pokyčiui įsvirtų 1,29 karto daugiau, o esant neigiamam – 0,32 karto mažiau). Taip pat kylant temperatūrai netiesiškai auga ir poslinkiai: jei + 20 °C temperatūroje 30 m ilgio stygos

poslinkis padidėja 1,34 karto, tai esant + 40 °C jis padidės 1,62 kartus, temperatūrai krintant atitinkamai sumažės 0,37 kartus ir 0,64 kartus.



2.12 pav. Procentinė neįtemptosios stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, poslinkio priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje)



2.13 pav. Procentinė neįtemptosios stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje)

Priešingai į temperatūros pokyčius reaguos stygoje atsirandanti skėtimo jėga. Temperatūrai mažėjant plieninės konstrukcijos traukiasi, tačiau kaip minėta anksčiau, dėl nepaslankių atramų deformuotoje konstrukcijoje pradeda labai didėti skėtimo jėga. Dėl teigiamo temperatūros pokyčio konstrukcija tįsta, tačiau šiuo atveju skėtimo jėga mažėja sąlyginai nežymiai. Pavyzdžiui: temperatūrai sumažėjus 40 °C, skėtimo jėga 15 m stygoje išauga net 4,56 karto, o tiek pat laipsnių temperatūrai pakilus skėtimo jėga sumažės tik 0,44 karto (40 m ilgio stygoje esant tam pačiam temperatūros pokyčiui skėtimo jėga atitinkamai išaugtų tik 2,34 karto ir sumažėtų 0,35 karto). Įtempių priklausomybės nuo temperatūros pokyčio grafikų pobūdžiai yra panašūs į skėtimo jėgos ir temperatūros grafikus ir pateikti A.1 paveiksle.

Apžvelgiant gautus rezultatus galima pastebėti, kad kuo styga trumpesnė, tuo ji jautresnė temperatūrų svyravimui. Todėl 15 m ilgio stygoje deformacijos kinta labiau, o skėtimo jėgos ir įtempiai auga staigiau negu 50 m stygoje.

Temperatūros poveikis veikiant nuolatinei ir laikinajai apkrovoms

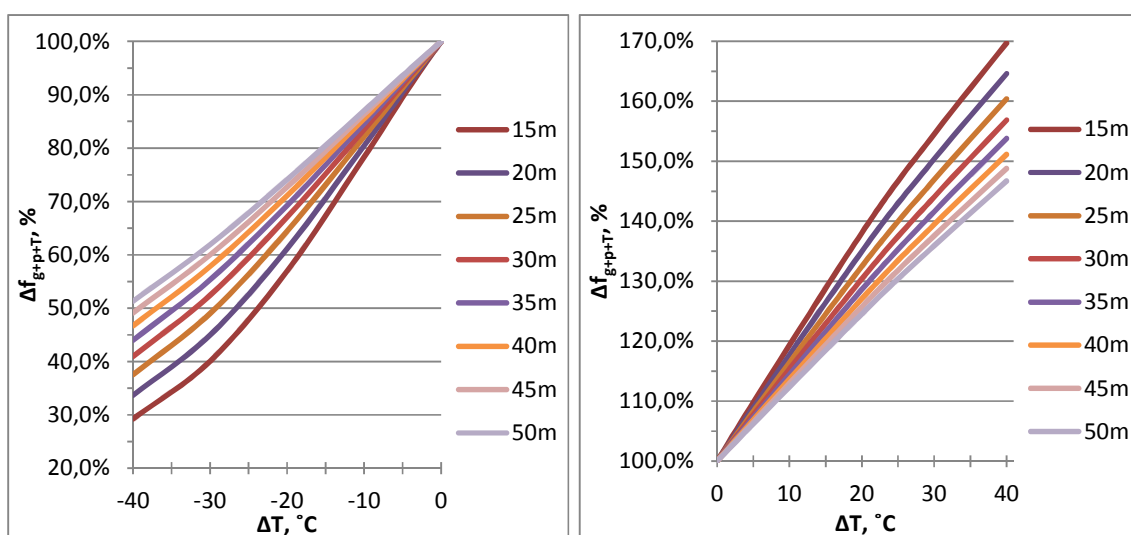
Modeliuojamos stygos, kurios yra veikiamos nuolatinės apkrovos, laikinosios apkrovos ir temperatūros poveikio. Jų skerspjūvio plotas parenkamas toks pat, kaip ir prieš tai modeliuotų stygų. Gauti poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempių rezultatai veikiant skirtingoms temperatūroms pateikiami 2.3 lentelėje, o grafiškai poslinkių ir skėtimo jėgos priklausomybės pateiktos 2.14 ir 2.15 paveiksluose.

2.3 lentelė. Neįtemptosios styginės konstrukcijos poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempių pokytis dėl temperatūros poveikio (absoliutiniu dydžiu ir procentais), kai veikia nuolatinė ir laikina apkrovos

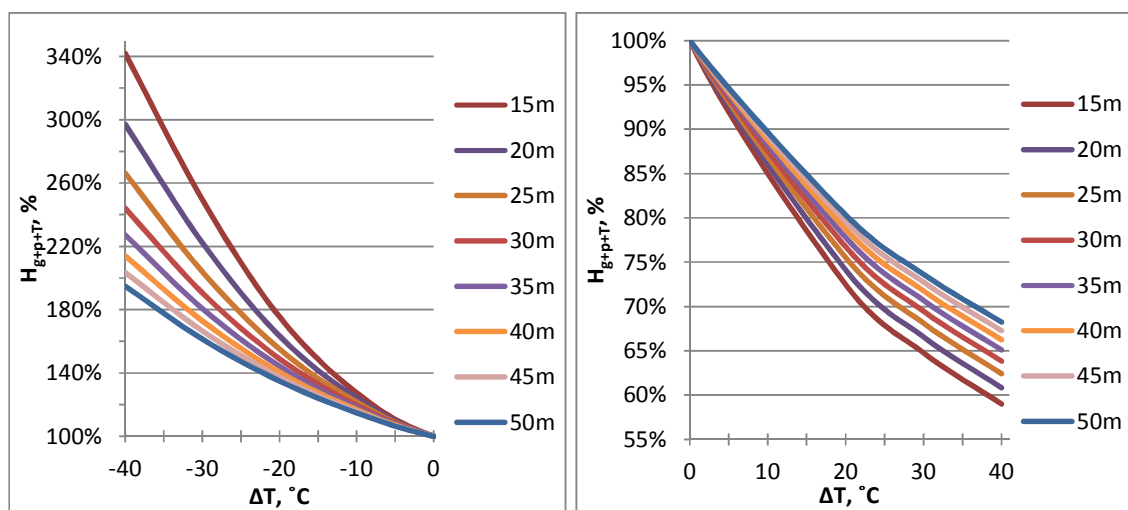
L _i , m	A, m ²	Δf, m													
		—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
		Δf _{g+p+T}	%	Δf _{g+p+T}	%	Δf _{g+p+T}	%	Δf _{g+p+T}	%	Δf _{g+p+T}	%	Δf _{g+p+T}	%	Δf _{g+p+T}	%
15	0,2035	0,0408	29,2%	0,0559	40,1%	0,0795	57,0%	0,1396	100%	0,1928	138,1%	0,2158	154,5%	0,2370	169,7%
20	0,2710	0,0653	33,7%	0,0872	45,0%	0,1186	61,2%	0,1939	100%	0,2618	135,0%	0,2916	150,4%	0,3192	164,6%
25	0,3385	0,0943	37,5%	0,1232	49,0%	0,1619	64,4%	0,2513	100%	0,3329	132,5%	0,3692	146,9%	0,4031	160,4%
30	0,4065	0,1275	41,0%	0,1632	52,4%	0,2088	67,1%	0,3113	100%	0,4059	130,4%	0,4485	144,1%	0,4883	156,9%
35	0,4740	0,1645	44,0%	0,2068	55,3%	0,2590	69,3%	0,3739	100%	0,4808	128,6%	0,5294	141,6%	0,5750	153,8%
40	0,5415	0,2049	46,7%	0,2537	57,8%	0,3121	71,1%	0,4387	100%	0,5575	127,1%	0,6119	139,5%	0,6631	151,1%
45	0,6095	0,2484	49,1%	0,3034	60,0%	0,3677	72,7%	0,5057	100%	0,6358	125,7%	0,6958	137,6%	0,7525	148,8%
50	0,6770	0,2948	51,3%	0,3559	61,9%	0,4259	74,1%	0,5747	100%	0,7158	124,6%	0,7812	135,9%	0,8432	146,7%
L _i , m	H, kN														
	—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C		
	H _{g+p+T}	%	H _{g+p+T}	%	H _{g+p+T}	%	H _{g+p+T}	%	H _{g+p+T}	%	H _{g+p+T}	%	H _{g+p+T}	%	
15	16229,6	342%	11842,9	249%	8332,8	175%	4748,2	100%	3441,2	72,5%	3075,2	64,8%	2801,4	59,0%	
20	22105,7	297%	16546,1	222%	12168,5	163%	7444,8	100%	5518,7	74,1%	4955,6	66,6%	4528,4	60,8%	
25	28291,9	266%	21666,1	204%	16485,7	155%	10627,3	100%	8026,9	75,5%	7239,0	68,1%	6633,6	62,4%	
30	34848,4	244%	27230,0	191%	21282,4	149%	14282,7	100%	10960,7	76,7%	9923,0	69,5%	9116,9	63,8%	
35	41704,0	227%	33168,4	181%	26491,7	144%	18360,7	100%	14284,9	77,8%	12978,1	70,7%	11952,5	65,1%	
40	48903,6	214%	39501,2	173%	32117,3	141%	22855,4	100%	17996,5	78,7%	16402,7	71,8%	15140,2	66,2%	
45	56492,6	203%	46254,0	167%	38172,4	137%	27771,5	100%	22100,2	79,6%	20202,1	72,7%	18686,0	67,3%	
50	64381,3	195%	53346,8	161%	44587,2	135%	33056,1	100%	26555,3	80,3%	24340,3	73,6%	22557,5	68,2%	

2.3 lentelės pabaiga

L_{d5} , m	σ , MPa													
	—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%
15	79,75	342%	58,20	249%	40,95	176%	23,3	100%	16,91	72,5%	15,11	64,8%	13,77	59,0%
20	81,57	297%	61,06	222%	44,90	163%	27,5	100%	20,36	74,1%	18,29	66,6%	16,71	60,8%
25	83,58	266%	64,01	204%	48,70	155%	31,4	100%	23,71	75,5%	21,39	68,1%	19,60	62,4%
30	85,73	244%	66,99	191%	52,36	149%	35,1	100%	26,96	76,7%	24,41	69,5%	22,43	63,8%
35	87,98	227%	69,98	181%	55,89	144%	38,7	100%	30,14	77,8%	27,38	70,7%	25,22	65,1%
40	90,31	214%	72,95	173%	59,31	141%	42,2	100%	33,23	78,7%	30,29	71,8%	27,96	66,2%
45	92,69	203%	75,89	167%	62,63	137%	45,6	100%	36,26	79,6%	33,15	72,8%	30,66	67,3%
50	95,10	195%	78,80	161%	65,86	135%	48,8	100%	39,23	80,3%	35,95	73,6%	33,32	68,2%



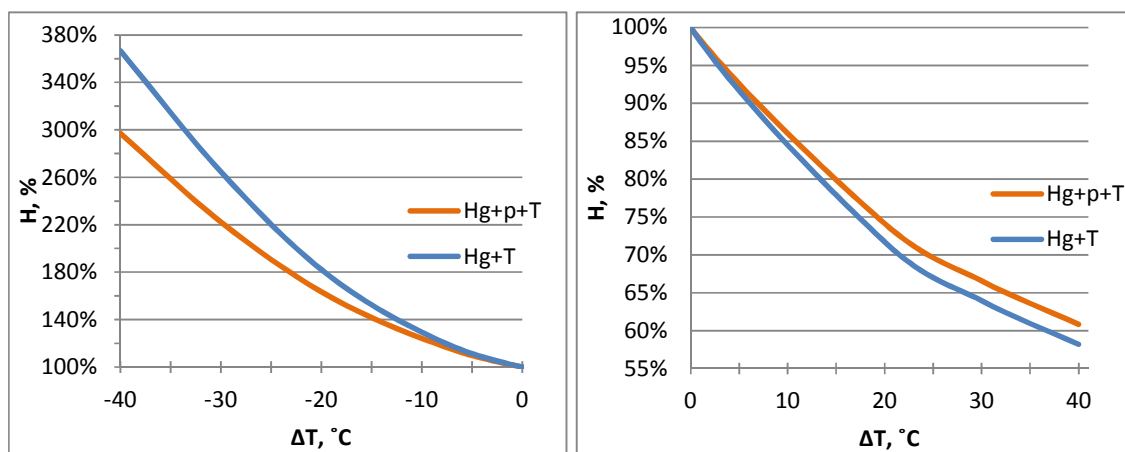
2.14 pav. Procentinė neįtemptosios stygos, apkrautos nuolatine ir kintančia apkrovomis, poslinkio priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje)



2.15 pav. Procentinė neįtemptosios stygos, apkrautos nuolatine ir kintančia apkrovomis, skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje)

Deformavimosi pobūdis temperatūrai veikiant neįtemptą stygą kartu ją apkrovus tik nuolatine arba nuolatine ir laikinąja apkrova nesikeičia: veikiant teigiamai ar neigiamai temperatūrai konstrukcija deformuojasi panašiai. Temperatūrai padidėjus $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 15 m ilgio styga įsvyra 1,38 karto daugiau, o sumažėjus tokio pat ilgio styga įsvirs 0,43 kartus mažiau (40 m ilgio styga, esant tokiam pat teigiamam temperatūros pokyčiui įsvirtų 1,27 karto daugiau, o esant neigiamam – 0,29 karto mažiau). Šiuo atveju didėjant temperatūrai taip pat auga ir poslinkiai: jei $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje 30 m ilgio stygos deformacija padidėja 1,30 karto, tai esant $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ji padidės 1,57 karto, temperatūrai krintant atitinkamai sumažės 0,33 kartus ir 0,59 kartus.

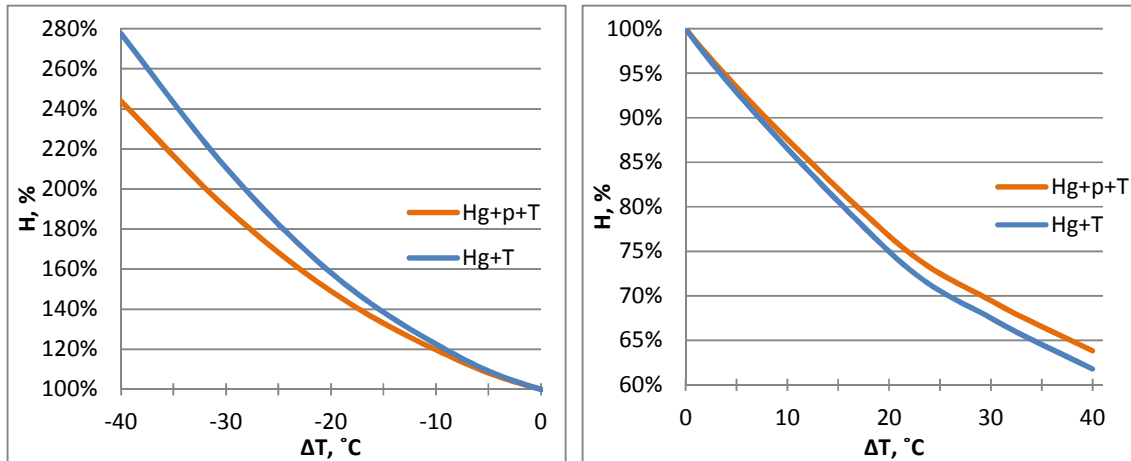
Analogiškai į temperatūros pokyčius reaguoja ir stygoje atsirandanti skėtimo jėga bei įtempiai: temperatūrai mažėjant konstrukcija traukiasi – skėtimo jėga ir įtempiai sparčiai auga, o temperatūrai didėjant – konstrukcija tįsta ir skėtimo jėga bei įtempiai mažėja sąlyginai nežymiai (2.15 ir A.2 pav.) Tačiau tarpusavyje palyginus stygą, veikiamą tik nuolatinės apkrovos, su styga, kuri veikiamą nuolatinės ir laikinosios apkrovos, galima pastebėti, kad pastarajai temperatūros pokytis turės mažesnę poveikį. Grafiškai 20 m ir 30 m ilgio stygose esančių skėtimo jėgų pokytis nuo temperatūros pateiktas 2.16 ir 2.17 paveiksluose.



2.16 Pav. Neįtemptosios stygos skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) 20 m ilgio stygoje įvertinant ir neįvertinant kintamą apkrovą

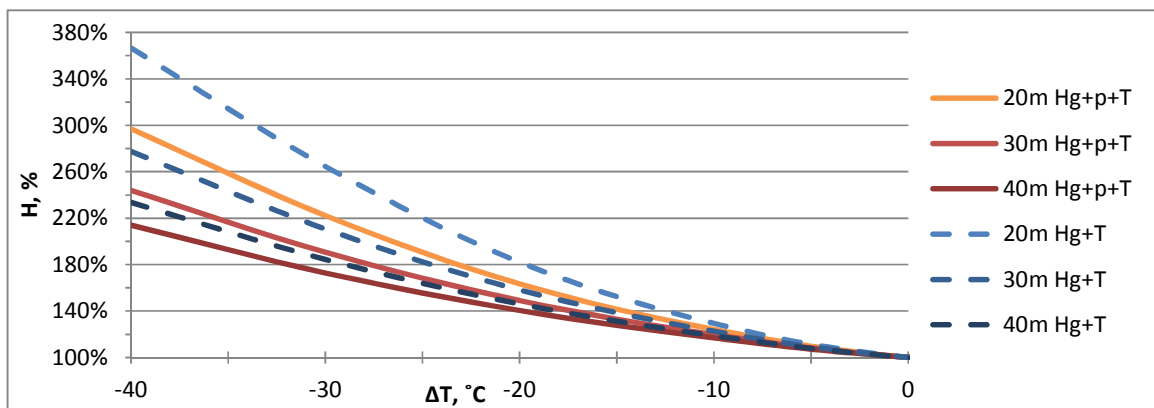
Iš grafikų galima matyti, kad esant didesniai temperatūros poveikiui staigiau kinta (didėja arba mažėja) ir skėtimo jėga nuolatine ir laikinąja apkrova apkrautoje neįtemptoje stygoje. Pavyzdžiui: 20 m ilgio stygoje temperatūrai nukritus $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ žemiau montuojamosios temperatūros skėtimo jėga tarp nuolatinės ir kintamos apkrovos apkrautos stygos H_{g+p+T} ir tik nuolatinės apkrovos veikiamos stygos H_{g+T} skiriasi 0,19 %, o temperatūrai nukritus $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, skirtumas padidėja iki 0,70 %. Teigiamas temperatūros poveikis skirtumui tarp skėtimo jėgų turi mažesnę poveikį: temperatūrai pakilus $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ skėtimo jėgos skiriasi tik

0,024 %, o pakilus 40 °C skirtumas yra tik 0,026 %. Panagrinėjus 30 m ilgio stygą skirtumas tarp skėtimo jėgų taip pat pastebimas, tačiau jis mažesnis. Temperatūrai nukritus 20 °C skėtimo jėgos H_{g+p+T} ir H_{g+T} skiriasi 0,09 %, o temperatūrai nukritus 40 °C, skirtumas padidėja tik iki 0,34 %. Temperatūrai pakilus 20 °C skėtimo jėgos skiriasi 0,017 %, o pakilus 40 °C skirtumas ir tik 0,020 % (2.17 pav.).



2.17 pav. Neįtemptosios stygos skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) 30 m ilgio stygoje įvertinant ir neįvertinant kintamą apkrovą

Palyginus ir kitas stygas galima pastebėti, kad kuo trumpesnė styga, tuo didesnis skėtimo jėgos skirtumas tarp nuolatinė ir laikinąją apkrovą apkrautos stygos H_{g+p+T} ir tik nuolatinė apkrovą veikiamos stygos H_{g+T} (2.18 pav.). Tai leidžia teigti, kad atsižvelgiant į temperatūros poveikį ekonomiškiau projektuoti ilgesnes stygas, kadangi veikiant temperatūrai jose atsiranda santykinai mažesnė skėtimo jėga. Konstrukcijos ne visuomet būna apkrautos naudojimo apkrova, todėl ekonomiškai naudingesnės ir mažesnės skėtimo jėgos tarp naudojimo apkrova apkrautos ir neapkrautos neįtemptosios konstrukcijos pastebimos ilgesnėse stygose.



2.18 pav. Neįtemptosios stygos skėtimo jėgos nuo neigiamo temperatūros pokyčio skirtingo ilgio stygose palyginimas įvertinant ir neįvertinant laikinąją apkrovą

2.3.2 Iš anksto įtemptosios stygos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio

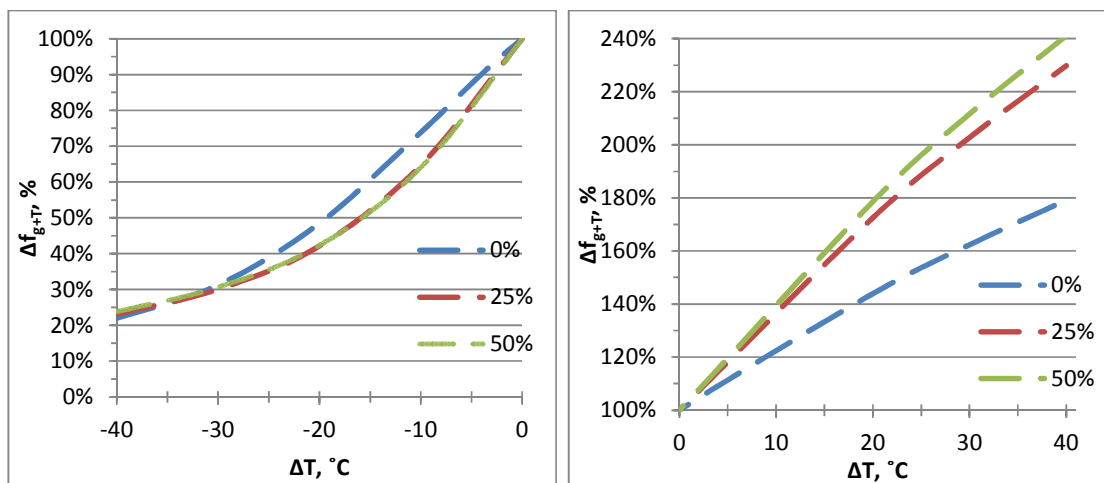
Analizuojant temperatūros poveikį iš anksto įtemptai styginei konstrukcijai modeliuojamos trys 15 m ilgio stygos: viena neįtemptoji styga, o dviem kitoms suteikiamas 25 % ir 50 % veikiančios skėtimo jėgos išankstinis įtempimas. Priimant, kad konstrukcijų montavimo temperatūra 0 °C joms suteikiamas temperatūros poveikis, kuris aplinkoje gali svyruoja nuo – 40 °C iki + 40 °C. Toliau pateikiami skaičiavimo duomenys ir grafikai.

Temperatūros poveikis veikiant tik nuolatinei apkrovai

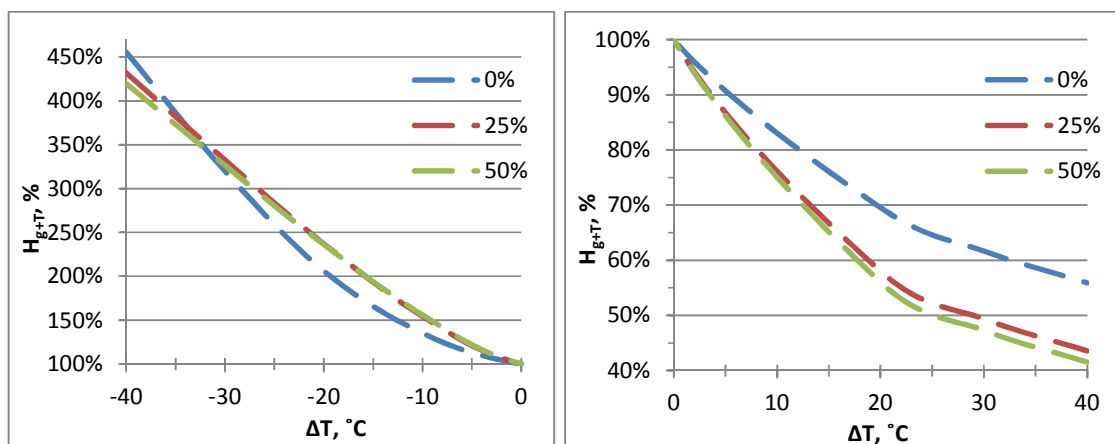
Modeliuojamos įtemptosios stygos, kurias veikia temperatūra ir nuolatinė apkrova (savasis konstrukcijos ir pakloto svoriai). Gauti poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempių rezultatai veikiant skirtingoms temperatūroms pateikiami 2.4 lentelėje, o priklausomybės grafiškai atitinkamai pavaizduotos 2.19, 2.20 ir 2.21 paveiksluose.

2.4 lentelė. Iš anksto įtemptosios styginės 15 m ilgio konstrukcijos poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempių pokytis dėl temperatūros poveikio (absoliutiniu dydžiu ir procentais), kai veikia nuolatinė apkrova

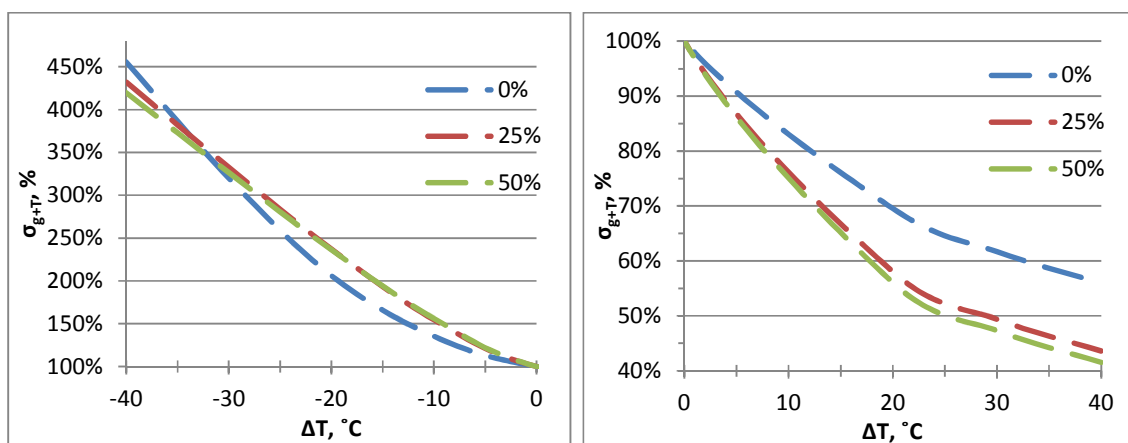
L _i , m	T _g , kN		Δf, m													
			—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
			Δf _{g+T}	%	Δf _{g+T}	%	Δf _{g+T}	%	Δf _g	%	Δf _{g+T}	%	Δf _{g+T}	%	Δf _{g+T}	%
15	0% H _g	0,00	0,0286	21,9%	0,0407	31,2%	0,0632	48,5%	0,1303	100%	0,1874	143,9%	0,2115	162,3%	0,2334	179,2%
	25% H _g	867,11	0,0209	23,1%	0,0272	30,1%	0,0381	42,2%	0,0903	100%	0,1558	172,5%	0,1831	202,7%	0,2076	229,8%
	50% H _g	1734,21	0,0201	23,8%	0,0259	30,6%	0,0357	42,3%	0,0845	100%	0,1508	178,6%	0,1787	211,6%	0,2036	241,1%
L _i , m	T _g , kN		H, kN													
			—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
			H _{g+T}	%	H _{g+T}	%	H _{g+T}	%	H _g	%	H _{g+T}	%	H _{g+T}	%	H _{g+T}	%
15	0% H _g	0,00	15798,8	456%	11095,9	320%	7149,9	206%	3468,4	100%	2412,1	69,5%	2138,7	61,7%	1938,9	55,9%
	25% H _g	867,11	21601,6	432%	16625,8	332%	11858,5	237%	5000,6	100%	2901,4	58,0%	2468,8	49,4%	2178,8	43,6%
	50% H _g	1734,21	22452,2	420%	17458,1	326%	12637,8	236%	5348,0	100%	2996,9	56,0%	2529,4	47,3%	2221,0	41,5%
L _i , m	T _g , kN		σ, MPa													
			—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
			σ _{g+T}	%	σ _{g+T}	%	σ _{g+T}	%	σ _{g+T}	%	σ _{g+T}	%	σ _{g+T}	%	σ _{g+T}	%
15	0% H _g	0,00	77,64	456%	54,53	320%	35,13	206%	17,04	100%	11,85	69,5%	10,51	61,7%	9,53	55,9%
	25% H _g	867,11	106,15	432%	81,70	333%	58,27	237%	24,57	100%	14,26	58,0%	12,13	49,4%	10,71	43,6%
	50% H _g	1734,21	110,33	420%	85,79	326%	62,10	236%	26,28	100%	14,73	56,1%	12,43	47,3%	10,91	41,5%



2.19 pav. Procentinė 15 m ilgio įtemptosios stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, poslinkio priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo



2.20 pav. Procentinė 15 m ilgio įtemptosios stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo – kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo



2.21 pav. Procentinė 15 m ilgio įtemptosios stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, įtempių priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo – kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo

Iš pateiktų grafikų galima matyti, kad veikiant temperatūrai konstrukcijos elgsenai poveikį turi ir išankstinis įtempimas. Kylant aplinkos temperatūrai ir esant išankstiniam įtempimui stygos poslinkis smarkiai mažėja. Pavyzdžiui: kai aplinkos temperatūra pakyla 40 °C neįtemptosios stygos vertikalus poslinkis Δf (0 %) yra 1,12 karto didesnis nei toje pačioje temperatūroje esančios įtemptosios stygos vertikalus poslinkis Δf (25 %). Tačiau didėjant išankstiniam įtempimui, konstrukcijos poslinkis taip staigiai nebemažėja. Pavyzdžiui: kai aplinkos temperatūra pakyla 40 °C įtemptosios stygos poslinkis Δf (25 %) yra tik 1,02 karto didesnis nei toje pačioje temperatūroje esančios dvigubai didesne jėga įtemptosios stygos poslinkis Δf (50 %). Aplinkos temperatūrai krintant didesnis poslinkių skirtumas tarp įtemptosios ir neįtemptosios stygos pastebimas esant 5 – 25 °C pokyčiui.

Skėtimo jėga ir įtempiai į temperatūros kitimą reaguoja priešingai nei poslinkiai, t.y. temperatūrai krintant jie sparčiai auga, o temperatūrai kylant pamažu krinta. Jų grafikuose galima pastebėti ir tai, kad tik pradėjus temperatūrai kristi iš anksto įtemptųjų stygų skėtimo jėgos išauga sparčiau negu neįtemptosios stygos, tačiau temperatūrai nukritus daugiau nei 30 °C žemiau montuojamosios temperatūros didesnis skėtimo jėgų (kartu ir įtempių) pokytis atsiranda neįtempioje konstrukcijoje. Pavyzdžiui: temperatūros pokyčiui esant – 40 °C, neįtemptosios stygos skėtimo jėga ir įtempiai išauga 4,56 karto, o 25 % ir 50 % įtemptosios stygos skėtimo jėga ir įtempiai atitinkamai išauga 4,32 ir 4,20 karto.

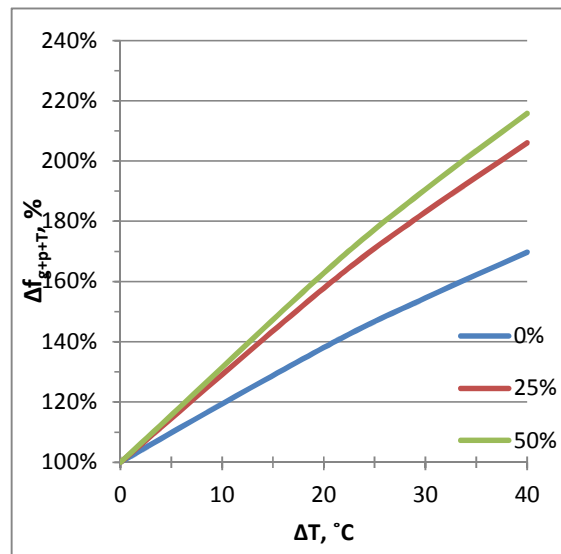
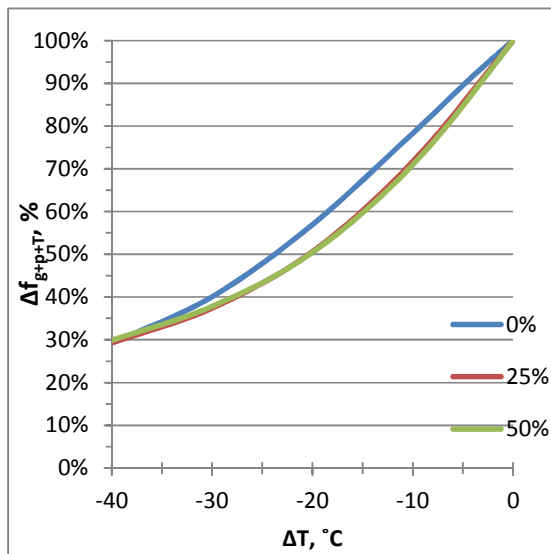
Temperatūros poveikis veikiant nuolatinei ir laikinajai apkrovoms

Modeliuojamos įtemptosios stygos, kurios yra veikiamos nuolatinės apkrovos, laikinos apkrovos ir temperatūros poveikio. Gauti poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempių rezultatai veikiant skirtingoms temperatūroms pateikiami 2.5 lentelėje, o priklausomybės grafiškai atitinkamai pavaizduotos 2.22, 2.23 ir 2.24 paveiksluose.

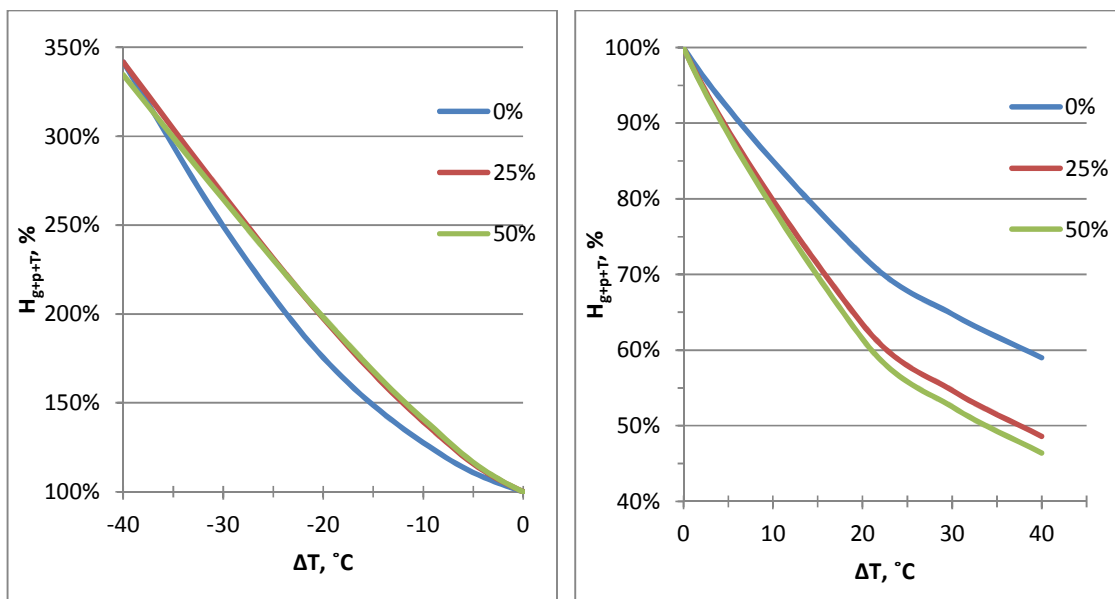
Šiuo atveju diagramų pobūdis visiškai atitinka ankščiau aptartas tik nuolatine apkrova veikiamas įtemptasias stygas. Absoliutinėmis reikšmėmis gaunami didesni dydžiai, tačiau procentinis skirtumas tarp rezultatų atsižvelgiant ir neatsižvelgiant į temperatūros poveikį yra mažesnis. Pavyzdžiui: temperatūros pokyčiui esant – 40 °C, neįtemptosios stygos skėtimo jėga ir įtempiai, įvertinant ir laikinąją apkrovą, išauga 3,42 karto, o 25 % ir 50 % įtemptosios stygos skėtimo jėga ir įtempiai, įvertinant ir laikinąją apkrovą, atitinkamai išauga 3,42 ir 3,35 karto. Šiuo atveju temperatūrai krintant iš anksto įtemptųjų konstrukcijų įrašos ir įtempiai taip pat didėja staigiau, o neįtemptos konstrukcijos lėčiau. Esant didesniai nei 37 °C neigiamam temperatūros pokyčiui neįtempioje konstrukcijoje skėtimo jėgos ir įtempių pokytis tampa didesnis negu iš anksto įtempioje konstrukcijoje.

2.5 lentelė. Iš anksto įtemptosios styginės 15 m ilgio konstrukcijos poslinkio, skėtimo jėgos ir įtempių pokytis dėl temperatūros poveikio (absoliutiniu dydžiu ir procentais), kai veikia nuolatinė ir laikina apkrova

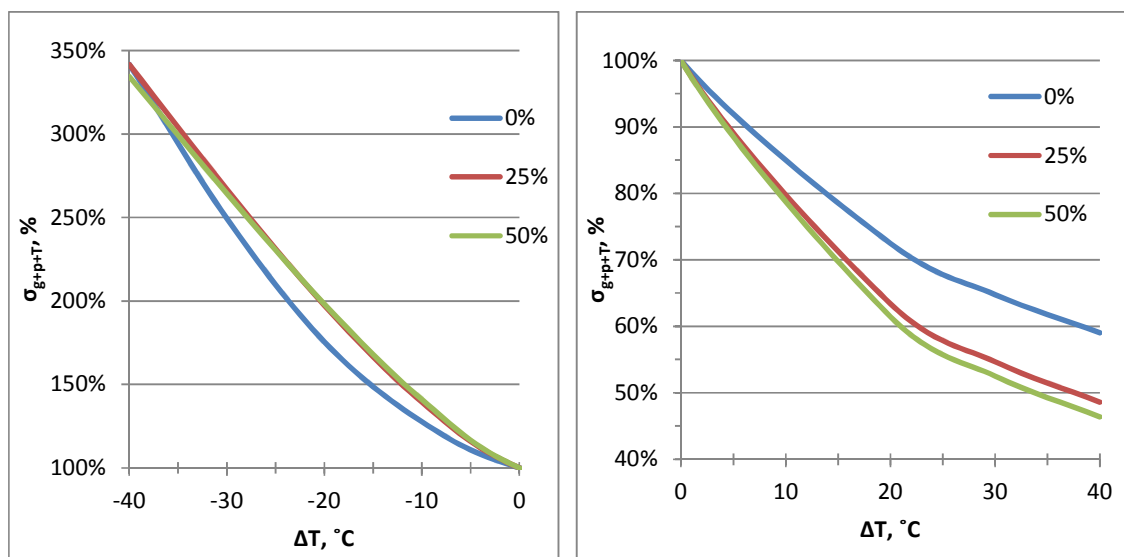
L_{i5} , m	T_{g+p} , kN		Δf , m													
			—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
			Δf_{g+p+T}	%	Δf_{g+p+T}	%	Δf_{g+p+T}	%	Δf_{g+p+T}	%	Δf_{g+p+T}	%	Δf_{g+p+T}	%	Δf_{g+p+T}	%
15	0% H_{g+p}	0,00	0,0408	29,2%	0,0559	40,1%	0,0795	57,0%	0,1396	100%	0,1928	138,1%	0,2158	154,5%	0,2370	169,7%
	25% H_{g+p}	1187,05	0,0299	29,2%	0,0383	37,4%	0,0518	50,6%	0,1022	100%	0,1613	157,8%	0,1871	183,1%	0,2106	206,0%
	50% H_{g+p}	2374,11	0,0284	29,9%	0,0360	37,8%	0,0480	50,4%	0,0952	100%	0,1549	162,8%	0,1814	190,6%	0,2054	215,8%
L_{i5} , m	T_{g+p} , kN		H , kN													
			—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
			H_{g+p+T}	%	H_{g+p+T}	%	H_{g+p+T}	%	H_{g+p+T}	%	H_{g+p+T}	%	H_{g+p+T}	%	H_{g+p+T}	%
15	0% H_{g+p}	0,00	16229,6	342%	11842,9	249%	8332,8	175%	4748,2	100%	3441,2	72,5%	3075,2	64,8%	2801,4	59,0%
	25% H_{g+p}	1187,05	22153,5	342%	17314,1	267%	12801,4	197%	6482,7	100%	4111,1	63,4%	3544,5	54,7%	3150,1	48,6%
	50% H_{g+p}	2374,11	23297,2	335%	18415,1	264%	13799,2	198%	6963,5	100%	4279,5	61,5%	3656,7	52,5%	3230,4	46,4%
L_{i5} , m	T_{g+vy} , kN		σ , MPa													
			—40 °C		—30 °C		—20 °C		0 °C		+20 °C		+30 °C		+40 °C	
			σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%	σ_{g+p+T}	%
15	0% H_{g+p}	0,00	79,75	342%	58,20	249%	40,95	176%	23,3	100%	16,91	72,5%	15,11	64,8%	13,77	59,0%
	25% H_{g+p}	1187,05	108,86	342%	85,08	267%	62,91	197%	31,9	100%	20,20	63,4%	17,42	54,7%	15,48	48,6%
	50% H_{g+p}	2374,11	114,48	335%	90,49	264%	67,81	198%	34,2	100%	21,03	61,5%	17,97	52,5%	15,87	46,4%



2.22 pav. Procentinė 15 m ilgio iš anksto įtemptosios stygos, apkrautos nuolatine ir laikinąja apkrovomis, poslinkio priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo

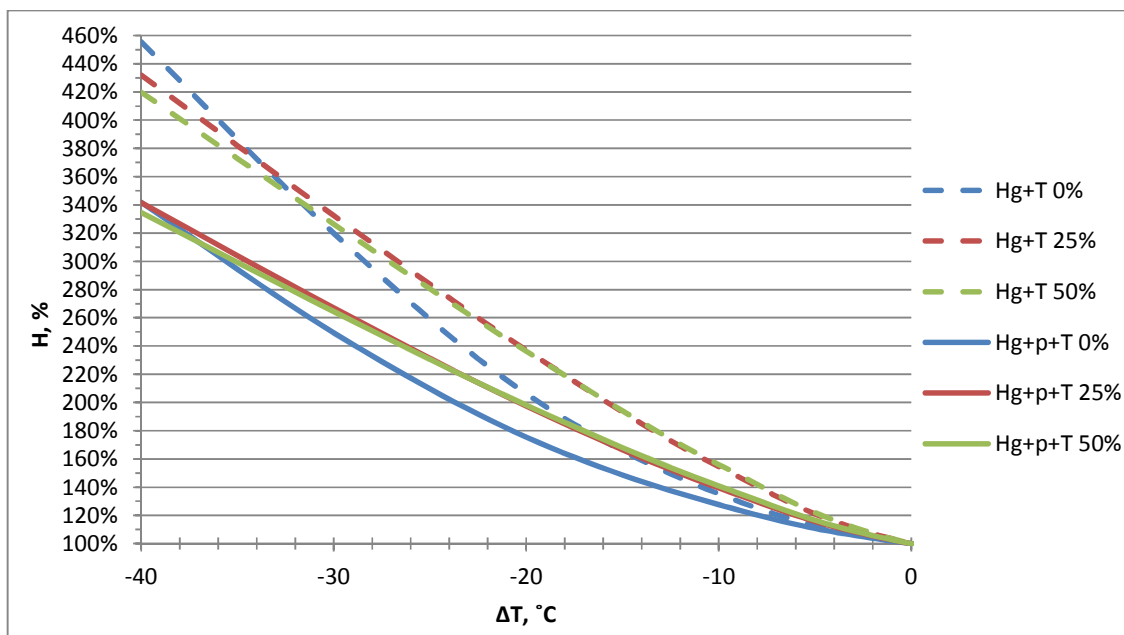


2.23 pav. Procentinė 15 m ilgio iš anksto įtemptosios stygos, apkrautos nuolatine ir laikinąja apkrovomis, skėtimo jėgos priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo



2.24 pav. Procentinė 15 m ilgio iš anksto įtemptosios stygos, apkrautos nuolatine ir laikinąja apkrovomis, įtempių priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje) ir išankstinio įtempimo

Bendras įtemptųjų ir neįtemptųjų stygų skėtimo jėgų grafikas krintant aplinkos temperatūrai ir veikiant tik nuolatinėms bei nuolatinėms ir laikinosioms apkrovoms, pateiktas 2.25 paveiksle.



2.25 pav. Įtemptosios stygos skėtimo jėgos nuo neigiamo temperatūros pokyčio skirtingai įtemptose 15 m ilgio konstrukcijose palyginimas įvertinant ir neįvertinant laikinąją apkrovą

Iš grafiko galima matyti, kad temperatūros poveikis skėtimo jėgai esant bet kokiam išankstiniam konstrukcijos įtempimui ir veikiant tik nuolatinei apkrovai yra didesnis nei temperatūros poveikis skėtimo jėgai veikiant nuolatinei ir laikinajai apkrovoms. Tokie pat poslinkių ir įtempių grafikai pateikti A priede (A.3 ir A.4 pav.).

2.4 Rezultatai ir išvados

Atlikus skirtingų ilgių ir skirtingomis tinkamumo ribinių būvių sąlygomis modeliuotų vieno tarpatramio įtemptųjų ir neįtemptųjų stygų analizę galima daryti tokias išvadas:

1. Neįtempta styga ekonomiškai nėra naudinga. Šiuo atveju konstrukcijos tinkamumo ribiniam būviui užtikrinti reikalingas didelis skerspjūvio plotas, o gaunami įtempiai tokie maži, kad konstrukciją galima gaminti net iš ženkiai mažesnio stiprio medžiagų (medžio ar plastiko).

2. Suteikiant stygoms išankstinį įtempimą konstrukcijos skerspjūvio plotą galima sumažinti apie 100 kartų. Ši priklausomybė yra tiesinė, todėl palaipsniui didinant įtempimą atitinkamai mažėja reikalingas minimalus skerspjūvio plotas: dvigubai didesne jėga įtempus elementą, plotas sumažėja per pus.

3. Konstrukcijos įtempių priklausomybė nuo išankstinio įtempimo jėgos yra netiesinė. Didėjant išankstiniam įtempimui labai išauga ir konstrukcijos įtempiai: suteikus konstrukcijai 50 % išankstinį įtempimą konstrukcijos įtempiai padidėja du kartus, o suteikus 90 % įtempimą – beveik devynis kartus.

4. Išankstinis elementų įtempimas varžo konstrukcijos poslinkius. Kuo įtempimas didesnis, tuo mažesnis stygos poslinkis nuo laikinosios apkrovos, tačiau mažėjant vertikaliam poslinkiui didėja skėtimo jėga. Esant 50 % išankstinio įtempimo jėgai stygos poslinkis sumažėja 20 %, skėtimo jėga padidėja 26 %, o esant 95 % išankstinio įtempimo jėgai poslinkis atitinkamai mažėja 63 %, o skėtimo jėga išauga net 115 %.

5. Labai didėjančiai skėtimo jėgai tiesioginį poveikį turi ir išankstinio įtempimo dydis. Apkrautos konstrukcijos skėtimo jėga yra lygi nuo elementą veikiančios apkrovos atsirandančios skėtimo jėgos ir iš anksto įtemptos jėgos sumai. Todėl palaipsniui didinant pradinį įtempimą skėtimo jėga auga žymiai greičiau.

6. Styginėms konstrukcijoms didelį poveikį turi aplinkos temperatūra. Kuo neįtemptoji styga trumpesnė, tuo ji jautriau reaguoja į temperatūros pokyčius. Išankstinis įtempimas mažina šiuos poveikių efektus, tačiau jo dydis didelės reikšmės neturi.

7. Elementų deformacijoms temperatūros didėjimas ir mažėjimas sukelia labai panašų pokytį, tačiau didesnis skėtimo jėgos pokytis atsiranda, kai visa konstrukcija traukiasi, t.y. temperatūra mažėja.

3 DAUGIAATRAMIŲ STYGINIŲ KONSTRUKCIJŲ ANALIZĖ

Styginės konstrukcijos, kaip ir bet koks tiltas gali turėti vieną, du arba daugiau tarpatramių. Didesniems atstumas perdengti jos dažnai yra ekonomiškesnis variantas, tačiau numatyti pavienių elementų ir kartu visos konstrukcijos elgseną yra žymiai sunkiau.

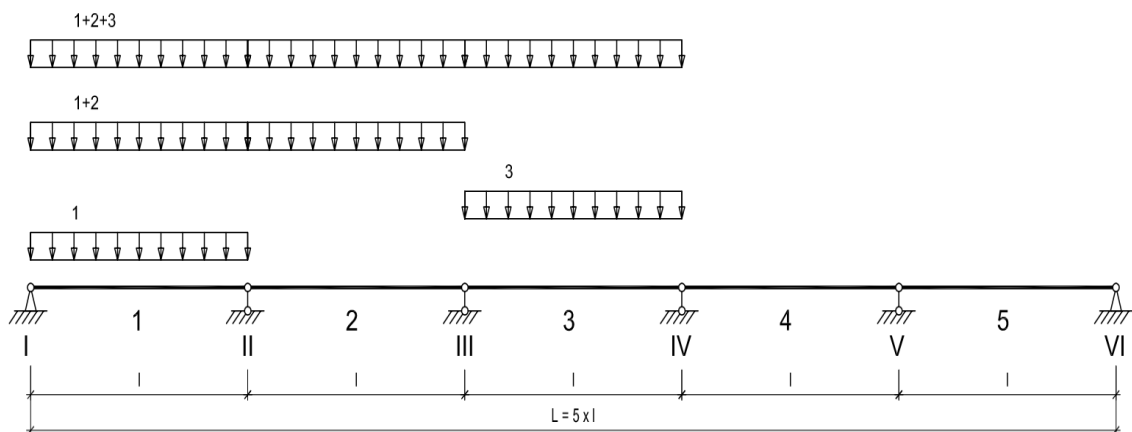
Šiame skyriuje bus nagrinėjami du daugiaatramės stygos atvejai: kai daugiaatramė styga yra penkių tarpatramių, o jų ilgiai kinta ir kai tarpatramio ilgis yra 20 m, tačiau keičiasi tarpatramių skaičius.

3.1 Penkių tarpatramių styginės konstrukcijos analizė, kai visi tarpatramių ilgiai lygūs

Baigtinių elementų programa modeliuojamos šešios, skirtingo tarpatramio ilgio penkiaatramės stygos (5 x 20 m, 5 x 25 m, 5 x 30 m, 5 x 35 m, 5 x 40 m ir 5 x 45 m). Jos iš anksto įtempiamos 25 %, 50 %, 75 % ir 95 % išankstine įtempimo jėga nuo apskaičiuotos veikiančios skėtimo jėgos. Prie kiekvieno įtempimo 20 m tarpatramio ilgio stygos plotas mažinamas iki minimalaus, tenkinančio konstrukcijos ribinio poslinkio sąlygą $l/200$ kai visa konstrukcija, t.y. visi jos tarpatramiai, tolygiai apkrauti išskirstyta laikinąja apkrova. Visoms kitokio tarpatramio ilgio konstrukcijoms suteikiamas toks pats skerspjūvio plotas, kaip ir 20 m ilgio tarpatramiui, todėl čia tinkamumo ribiniai būviai jau nėra tenkinami.

Konstrukcija galuose tvirtinama lanksčiomis, tačiau neleidžiančiomis pasislinkti atramomis, o tarpinės atramos suteikia tik palaikomąjį efektą ir leidžia elementams judėti horizontaliai. Kadangi įtempimai ir stygos inkaravimas atliekamas konstrukcijos galuose, čia reikalingos masyvios, didelės skėtimo jėgas perimančios atramos.

Visa daugiaatramė konstrukcija apkraunama nuolatine pakloto svorio ir laikinąja naudojimo apkrovomis (savasis konstrukcijos elementų svoris nėra vertinamas). Kiekvienai stygai atliekami penki skirtingi apkrovimo variantai (3.1 pav.): apkraunamas vienas kraštinis, vienas vidurinis, du kraštiniai, trys kraštiniai ir visi tarpatramiai. 3.1 lentelėje pateikiami visais apkrovimo atvejais apkrovus 5 x 20 m ilgio konstrukciją gauti rezultatai: tarpatramių vertikalūs poslinkiai, tarpinių atramų horizontalūs poslinkiai, skėtimo jėgos bei įtempiai. Visų kitų penkių styginių konstrukcijų rezultatai pateikti B.1 lentelėje. Konstrukcijos tarpatramiai numeruojami arabiškais, o atramos romėniškais skaičiais.



3.1 pav. Penkiaatramės stygos apkrovimo variantų schema

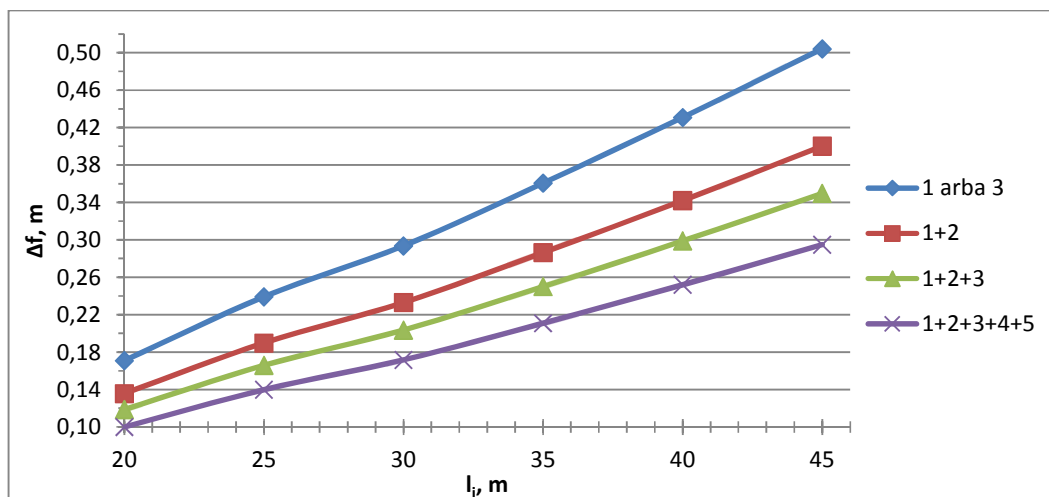
3.1 lentelė. Penkiaatramės 20 m tarpatramio ilgio stygos skaičiavimo rezultatai

Ribinio įlinkio sąlyga	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarptraimis	T, kN					H _i , kN					σ, MPa				
				Išankstinis įtempimas														
				0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %
1/200	20	100	1	0	947,5	1895,0	2842,5	3600,5	2216,5	2384,2	2662,9	3121,9	3641,6	8,19	11,74	19,67	46,13	268,95
			3						2216,5	2384,2	2662,9	3121,9	3641,6	8,19	11,74	19,67	46,13	268,95
			1+2						2792,5	2895,5	3058,8	3332,7	3680,9	10,32	14,26	22,6	49,24	271,85
			1+2+3						3196,6	3257,0	3350,1	3506,6	3718,7	11,81	16,04	24,75	51,81	274,64
			visas						3790,0	3790,0	3790,0	3790,0	3790,1	14	18,67	28	56	279,92
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	Δf ir Δu, m																
		0 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
1	2		3	4	5	I	II	III	IV	V	VI							
5x20	1	0,27071	0,1710	0,0033	0,0027	0,0022	0,0019	0	-0,0031	-0,0023	-0,0016	-0,0008	0					
	3		0,0019	0,0022	0,1710	0,0022	0,0019	0	0,0008	0,0016	-0,0016	-0,0008	0					
	1+2		0,1357	0,1357	0,0030	0,0021	0,0015	0	-0,0015	-0,0029	-0,0020	-0,0010	0					
	1+2+3		0,1186	0,1186	0,1186	0,0023	0,0014	0	-0,0008	-0,0015	-0,0023	-0,0011	0					
	visas		0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000	0	0	0	0	0	0	0				
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	25 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x20	1	0,20304	0,1590	0,0029	0,0024	0,0020	0,0017	0	-0,0027	-0,0020	-0,0014	-0,0007	0					
	3		0,0017	0,0020	0,1590	0,0020	0,0017	0	0,0007	0,0014	-0,0014	-0,0007	0					
	1+2		0,1309	0,1309	0,0027	0,0020	0,0015	0	-0,0014	-0,0027	-0,0018	-0,0009	0					
	1+2+3		0,1164	0,1164	0,1164	0,0022	0,0014	0	-0,0007	-0,0014	-0,0022	-0,0011	0					
	visas		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0	0	0	0	0	0	0				

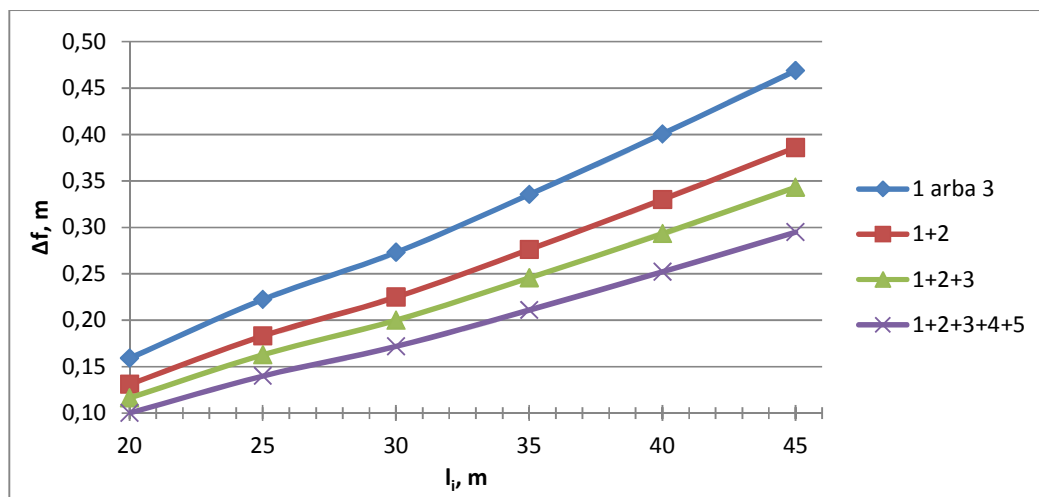
3.1 lentelės pabaiga

n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	Δf ir Δu, m											
		50 %											
		A, m ²	Δf					Δu					
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
5x20	1	0,13536	0,1423	0,0024	0,0020	0,0017	0,0015	0	-0,0022	-0,0016	-0,0011	-0,0005	0
	3		0,0015	0,0017	0,1423	0,0017	0,0015	0	0,0005	0,0011	-0,0011	-0,0005	0
	1+2		0,1239	0,1239	0,0025	0,0018	0,0014	0	-0,0012	-0,0025	-0,0016	-0,0008	0
	1+2+3		0,1131	0,1131	0,1131	0,0021	0,0013	0	-0,0007	-0,0014	-0,0021	-0,0010	0
	visas		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0	0	0	0	0	0
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	75 %											
		A, m ²	Δf					Δu					
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
5x20	1	0,06768	0,1238	0,0019	0,0016	0,0014	0,0013	0	-0,0016	-0,0012	-0,0008	-0,0004	0
	3		0,0013	0,0014	0,1214	0,0014	0,0013	0	0,0004	0,0008	-0,0008	-0,0004	0
	1+2		0,1137	0,1137	0,0021	0,0016	0,0013	0	-0,0010	-0,0021	-0,0014	-0,0007	0
	1+2+3		0,1081	0,1081	0,1081	0,0019	0,0012	0	-0,0006	-0,0013	-0,0019	-0,0009	0
	visas		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	95 %											
		A, m ²	Δf					Δu					
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
5x20	1	0,01354	0,1041	0,0015	0,0013	0,0012	0,0011	0	-0,0012	-0,0009	-0,0006	-0,0003	0
	3		0,0011	0,0012	0,1041	0,0012	0,0011	0	0,0003	0,0006	-0,0006	-0,0003	0
	1+2		0,1030	0,1030	0,0018	0,0014	0,0011	0	-0,0009	-0,0017	-0,0011	-0,0006	0
	1+2+3		0,1019	0,1019	0,1019	0,0017	0,0012	0	-0,0006	-0,0011	-0,0017	-0,0008	0
	visas		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0

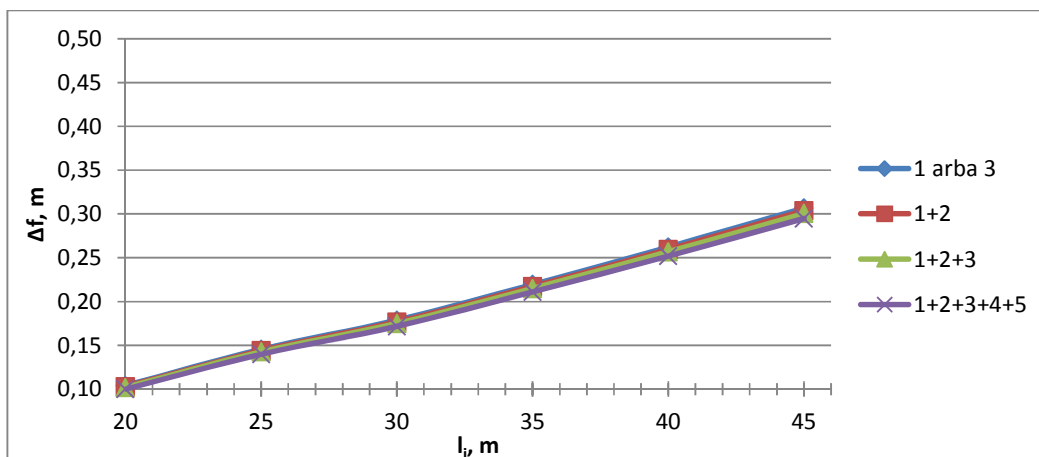
Apibendrinant gautus skaičiavimo rezultatus aiškiai galima matyti, kad daugiaatramėje stygoje, esant bet kokio dydžio išankstiniam įtempimui, maksimalus konstrukcijos vertikalus poslinkis bus apkrovus tik vieną tarpatramį. Apkraunant vis daugiau tarpatramių konstrukcijos poslinkis tolygiai mažėja esant bet kokio ilgio tarpatramiui (3.2, 3.3 ir 3.4 pav.). Tolstant nuo apkrauto tarpatramio gretimų tarpatramių poslinkiai į abi puses simetriškai mažėja.



3.2 pav. Penkiaatramės neįtemptosios stygos ($T = 0\%$, $A = \text{const.}$) poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui

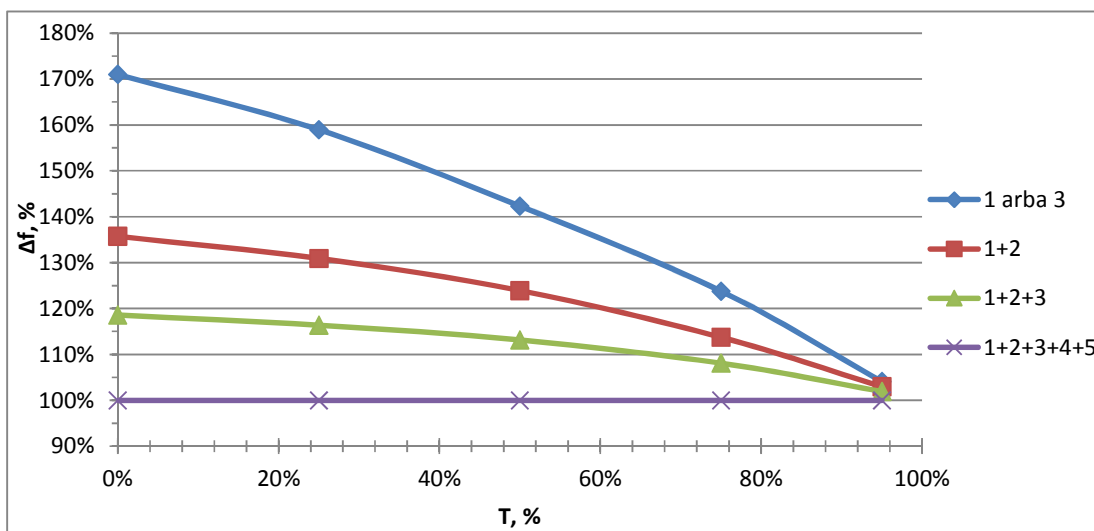


3.3 pav. Penkiaatramės įtemptosios stygos ($T = 25\%$, $A = \text{const.}$) poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui



3.4 pav. Penkiaatramės įtemptosios stygos ($T = 95\%$, $A = \text{const.}$) poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui

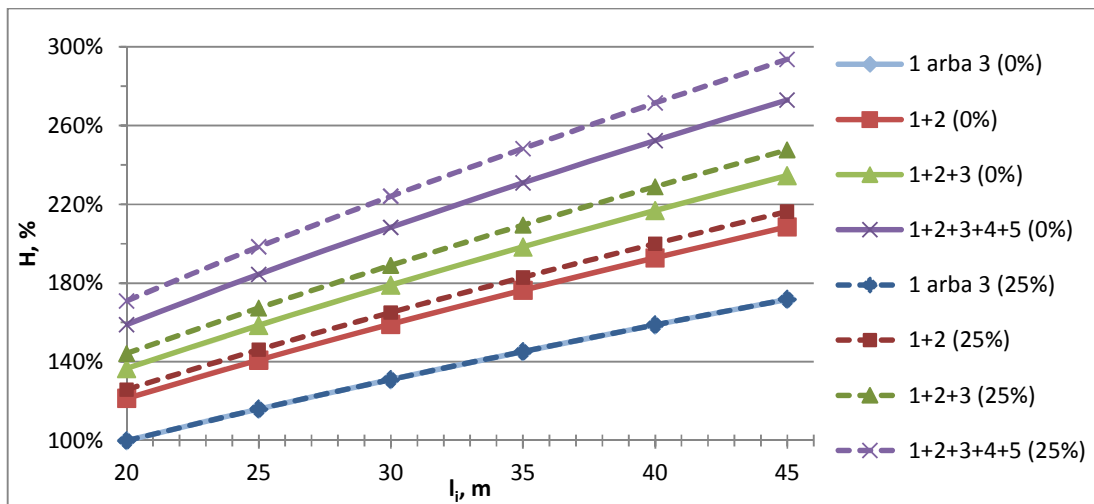
Iš pateiktų grafikų galima pastebėti, kad didinant išankstinį įtempimą apkrautų tarpatramių poslinkio reikšmė artėja prie tokios poslinkio reikšmės, kurį kiekvienas elementas įgauna laikinąją apkrovą apkrovus visą konstrukciją (3.5 pav.), t.y. mažėja pavienių tarpatramių įlinkiai. Mažesni maksimalūs poslinkiai leidžia atitinkamai mažinti reikalingą minimalų elementų skerspjūvio plotą ir didinti styginės konstrukcijos efektyvumą ir ekonomiškumą.



3.5 pav. Penkiaatramės, bet kokio tarpatramio ilgio stygos procentinė poslinkio priklausomybė nuo išankstinio įtempimo jėgos esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui (A prie kiekvieno įtempimo mažinamas iki minimalaus ribinio poslinkio sąlygą $l/200$ tenkinančio skerspjūvio ploto)

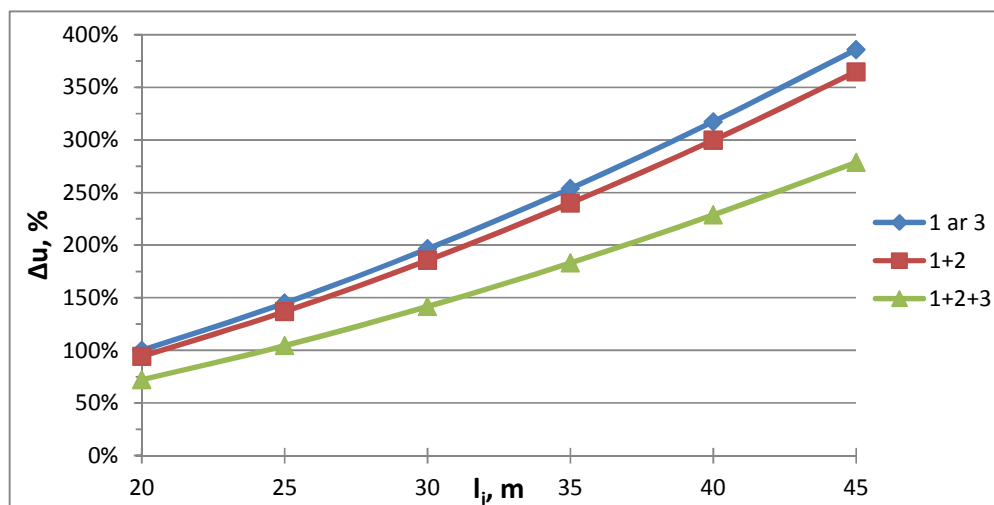
Apkrautų tarpatramių padėtis visos konstrukcijos atžvilgiu visiškai neturi reikšmės tų tarpatramių poslinkiui. T.y. apkrovos veikiama vienas ar keli tarpatramiai viduryje bei vienas ar keli tarpatramiai konstrukcijos krašte įlinks vienodai, todėl galima teigti, kad daugiaatramė styginė konstrukcija yra visiškai nejautri asimetriniam apkrovimui. Tai labai teigiama konstrukcijos savybė, kadangi daugumai tiltų, ypač vienajuosčiams kabamiesiems, asimetrinės apkrovos veikimas sukelia labai pavojingus kinematinus poslinkius ir didesnes įrąžas.

Kaip ir vieno tarpatramio stygoje, mažėjant konstrukcijos poslinkiams vertikalioji kryptimi skėtimo jėga auga ir proporcingai didėja įtempiai, todėl apkraunant daugiau tarpatramių skėtimo jėga išauga labiau (3.6 pav.). Daugiaatramėje konstrukcijoje apkrovus bet kuriuos tarpatramius skėtimo jėga visoje konstrukcijoje yra vienoda.



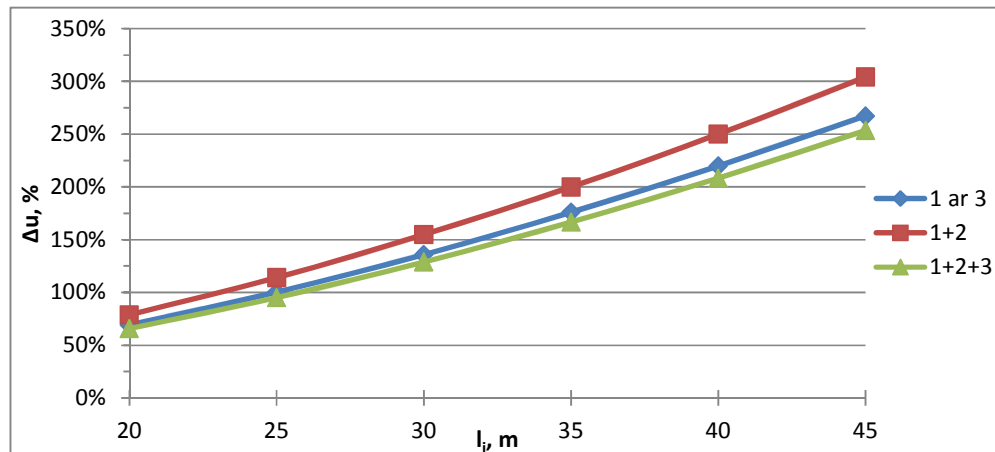
3.6 pav. Penkiaatramės neįtemptosios ($T = 0\%$) ir įtemptosios ($T = 25\%$) stygos procentinė skėtimo jėgos priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui

Daugiaatramėse konstrukcijose labai svarbu suvaldyti ne tik vertikalius elementų poslinkius, bet ir horizontalius tarpinių atramų poslinkius. Didėjant tarpatramio ilgiui atramų judrumas taip pat labai auga (3.7 pav.). Tarpaptramiui pailgėjus du kartus (nuo 20 m iki 40 m) ir esant apkrautam vienam, bet kuriam tarpatramui (1 ar 3), judriausia atrama pasislenka beveik 3,2 karto daugiau; apkrovus du tarpatramius (1+2) – 3 kartus, o apkrovus tris tarpatramius (1+2+3) – beveik 2,3 kartus daugiau (esant neįtemptai stygai). Visais atvejais skiriasi tikrai judriausios atramos padėtis konstrukcijos atžvilgiu – daugiausia pasislenka kraštinė apkrauto tarpatramio atrama. Pavyzdžiui: jei apkraunami pirmas ir antras tarpatramiai (1+2), tai didžiausią poslinkį turi trečia atrama (III), jei apkraunami pirmas, antras ir trečias tarpatramiai (1+2+3), tuomet daugiausiai pasislenka ketvirta (IV) atrama.



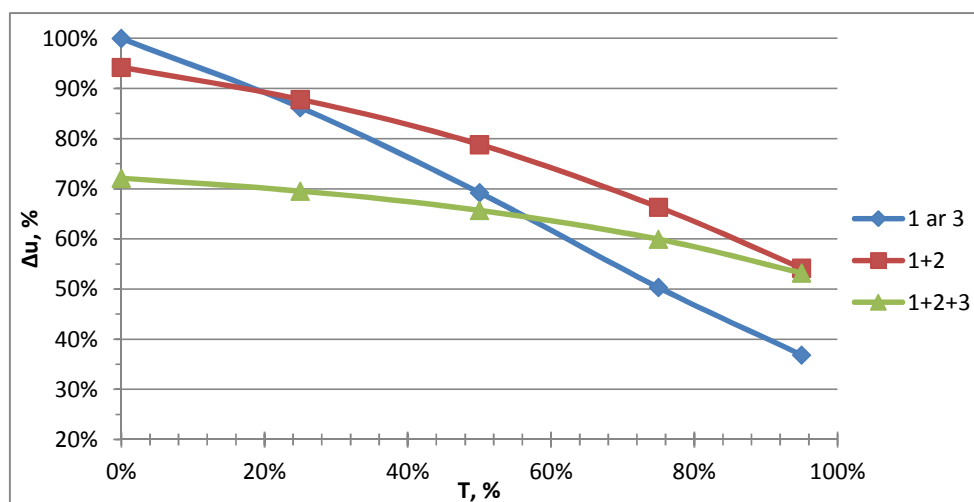
3.7 pav. Penkiaatramės neįtemptosios stygos ($T = 0\%$) tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui

Išankstinis stygos įtempimas taip pat turi poveikį tarpinių atramų poslinkiams. 3.8 paveiksle pavaizduotas maksimalaus horizontalaus atramos poslinkio didėjimas, kai tarpatramis ilgėja ir styga įtempinama 50 % veikiančios skėtimo jėgos. Tokios pačios priklausomybės grafikai, tik stygą įtempus 25 %, 75 % ir 95 % dydžiu, pateikti B.1, B.2 ir B.3 paveiksluose.



3.8 pav. Penkiaatramės įtemptosios stygos ($T = 50\%$) tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui

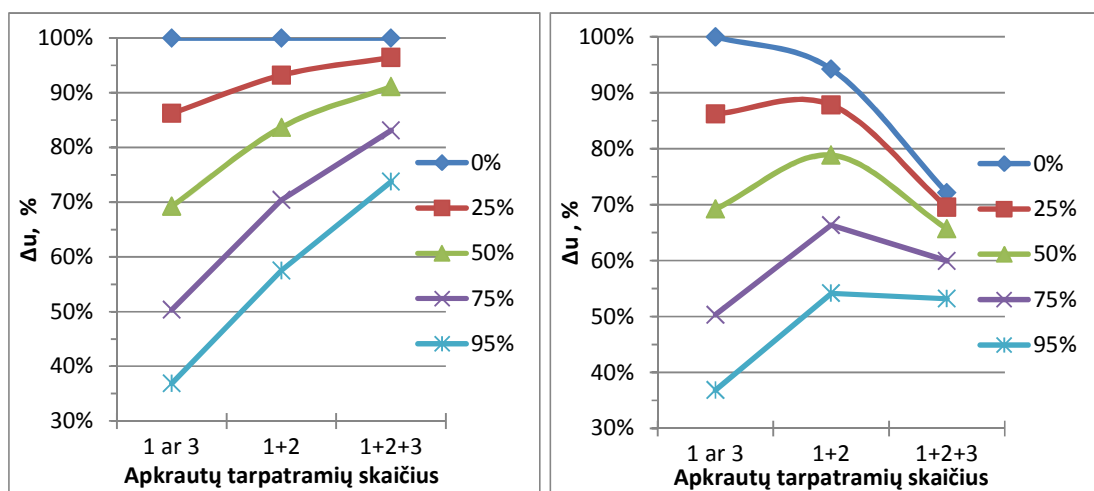
Palyginus visus tarpinių atramų poslinkio grafikus galima pastebėti, kad esant pradiniam stygos įtempimui tarpinių atramų poslinkiai mažėja. Kaip didinant išankstinį įtempimą jie kinta priklauso nuo apkrautų tarpatramių skaičiaus. Dviejų tarpatramių apkrovimo atveju (1+2) poslinkiai mažėja labiau negu trijų (1+2+3). Apkrovus bet kurį vieną tarpatramį horizontalus poslinkis suteikiant išankstinį įtempimą mažėja dar staigiau: prie 50 % įtempimo jėgos sumažėja 31 %, o prie 95 % – daugiau nei 60 % (3.9 pav.)



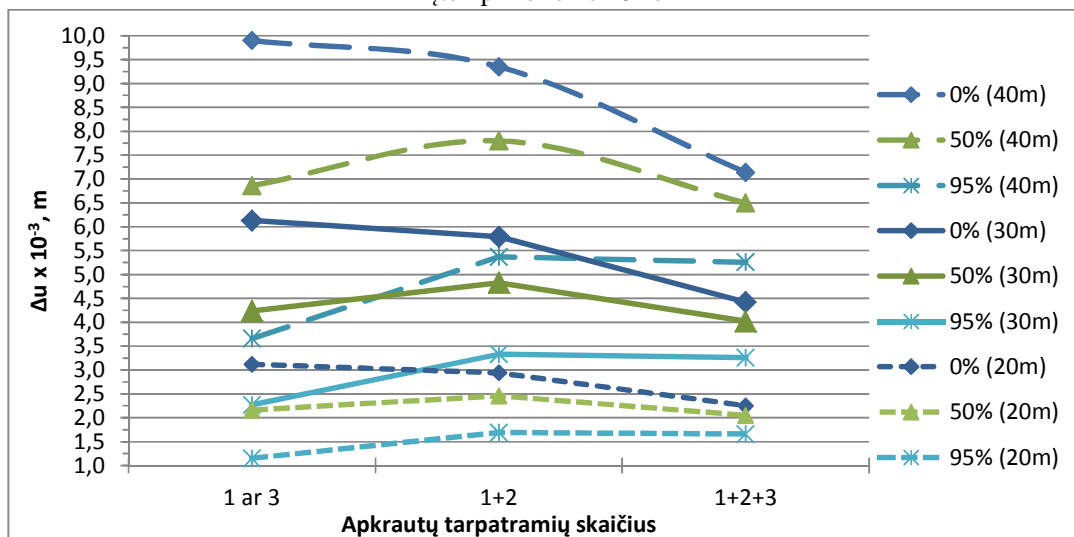
3.9 pav. Penkiaatramės stygos tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo išankstinio įtempimo jėgos ir apkrautų tarpatramių skaičiaus bet kokio ilgio tarpatramiui

Kai styga neįtempta, didžiausias atramos poslinkis atsiranda apkrovus vieną kraštinį tarpatramį, o kai styga įtempta, didžiausias poslinkis gaunamas apkrovus du tarpatramius. Kuo didesnis įtempimas, tuo mažesni tarpinių atramų ir vienodesni 1+2 ir 1+2+3 apkrovimo atvejų poslinkiai (esant 95 % įtempimui abiem atvejais poslinkiai sumažėja beveik iki 54 %).

Kaip keičiasi tarpinių atramų horizontalūs poslinkiai kiekvieno apkrovimo metu priklausomai nuo išankstinio įtempimo dydžio pavaizduota 3.10 paveiksle. Grafikas kairėje parodo poslinkių kitimą lyginant juos su neįtemptąja styga, o grafikas dešinėje – poslinkius lyginant su neįtemptąja ir tik vienu tarpatramiu apkrauta styga. Absoliutiniu didumu neįtemptoje, 50 % ir 95 % įtemptoje stygoje deformacijos pavaizduotos 3.11 paveiksle.



3.10 pav. Penkiaatramės stygos tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo apkraudų tarpatramių skaičiaus visų tarpatramių konstrukcijoms esant skirtingoms išankstinio įtempimo reikšmėms



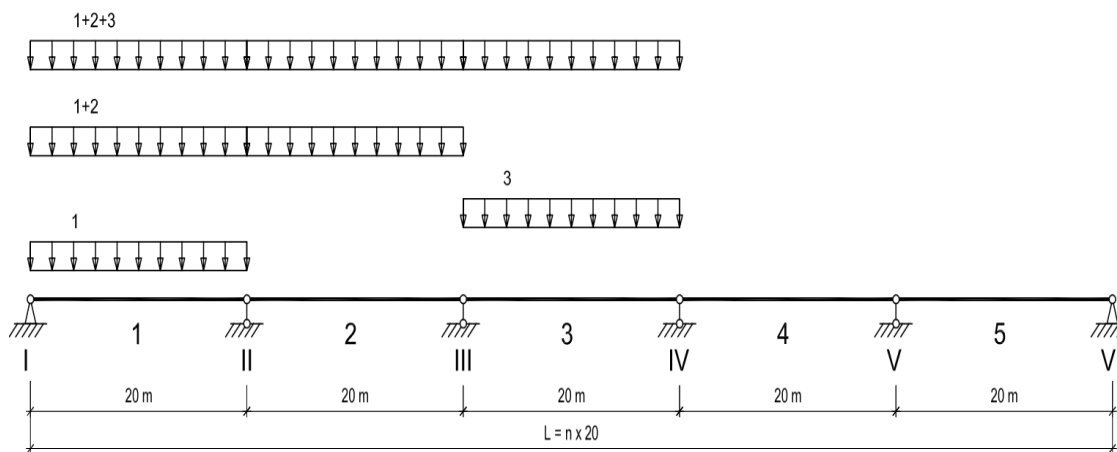
3.11 pav Penkiaatramės stygos tarpinių atramų maksimalių horizontalių deformacijų priklausomybė nuo apkraudų tarpatramių skaičiaus esant skirtingoms išankstinio įtempimo reikšmėms

3.2 20 m tarpatramio styginės konstrukcijos elgsenos analizė, esant skirtingam tarpatramių skaičiui

Šiame poskyryje analizuojamos keturios 20 m tarpatramio daugiaatramės įtemptos stygos (5 x 20 m, 10 x 20 m, 15 x 20 m ir 20 x 20 m). Jas modeliuojant minimalus skerspjūvio plotas parenkamas pagal ribinio poslinkio sąlygą $l/200$, kuri turi būti tenkinama, kai nuolatine pakloto svorio ir laikinąją apkrovomis apkraunama visa konstrukcija. Konstrukcijoms suteikiamas išankstinis 25 % ir 50 % įtempimas nuo neįtemptoje stygoje atsirandančios skėtimo jėgos.

Konstrukcijai priskiriamos tokios pat, kaip ir anksčiau aprašytos, atramimo sąlygos: galuose lanksčios, tačiau neleidžiančios pasislinkti, o viduryje horizontalia kryptimi paslankios ir suteikiančios palaikomąjį efektą.

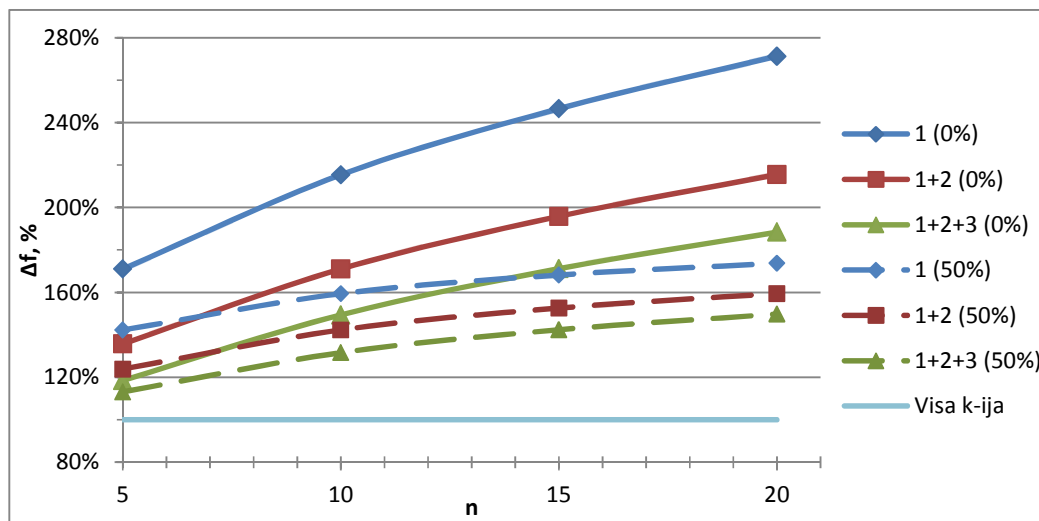
Pirmajai, penkių tarpatramių daugiaatramei stygai, nagrinėjami penki skirtingi apkrovimo deriniai (žr. 3.1 pav.). Kitoms trimis konstrukcijoms parenkama po devynis pavojuingesnius derinius. Supaprastintas jų žymėjimas parodytas 3.12 paveiksle. Visais apkrovimo atvejais apkrautos 5 x 20 m ilgio stygos modeliavimo rezultatai: tarpatramių vertikalūs poslinkiai, tarpinių atramų horizontalūs poslinkiai, skėtimo jėgos bei įtempiai, atitinka prieš tai nagrinėtą penkiaatramę 20 m ilgio stygą (žr. 3.1 lentelėje). Kitų trijų konstrukcijų rezultatai pateikti B.2 lentelėje.



3.12 pav. Daugiaatramių stygų apkrovimo variantų schemas

Kaip įrodyta prieš tai buvusiame 3.1 poskyryje kuo daugiau tarpatramių yra apkrauta, tuo maksimalus konstrukcijos poslinkis mažėja ir artėja prie ribinio poslinkio sąlygos (pagal kurią suprojektuota visa konstrukcija). Tačiau poslinkiui poveikį turi ne tik apkrautų tarpatramių skaičius ar jų ilgis, bet ir visos įtemptosios konstrukcijos tarpatramių skaičius n . 3.13 paveiksle parodyta, kaip keičiasi vieno tarpatramio vertikalūs poslinkis

didėjant bendram visos konstrukcijos tarpatramių skaičiui, didėjant apkrautų tarpatramių skaičiui bei esant neįtemptai ir 50 % iš anksto įtemptai 20 m tarpatramio stygai lyginant ją su pilnai apkrauta konstrukcija.



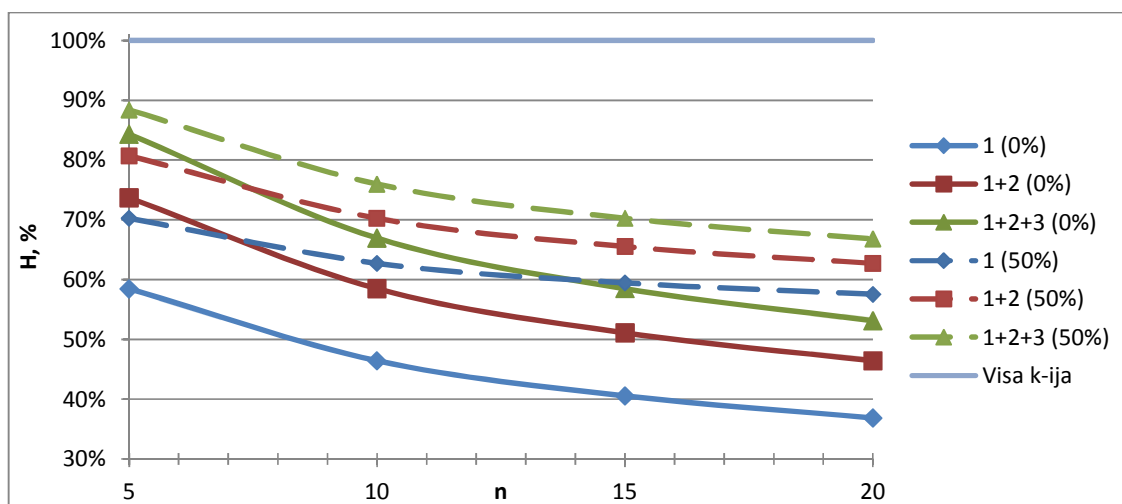
3.13 pav. Daugiaatramės neįtemptosios ir įtemptosios stygos poslinkio priklausomybė nuo bendro tarpatramių ir apkrautų tarpatramių skaičiaus

Iš grafiko matoma, kad daugiau tarpatramių turinti neįtemptoji konstrukcija prie bet kokio apkrautų tarpatramių skaičiaus įlinksta labiau nei iš anksto įtemptoji konstrukcija. Pavyzdžiui: apkrovus vieną iš penkių tarpatramių, neįtemptoji konstrukcija vertikalčiai pasilenka 20,1 % daugiau negu įtemptoji styga, o apkrovus vieną iš dvidešimties tarpatramių net 56,1 % daugiau (3.2 lentelė).

3.2 lentelė. Neįtemptosios ir iš anksto įtemptosios ($T = 50\%$) stygos poslinkių skirtumas

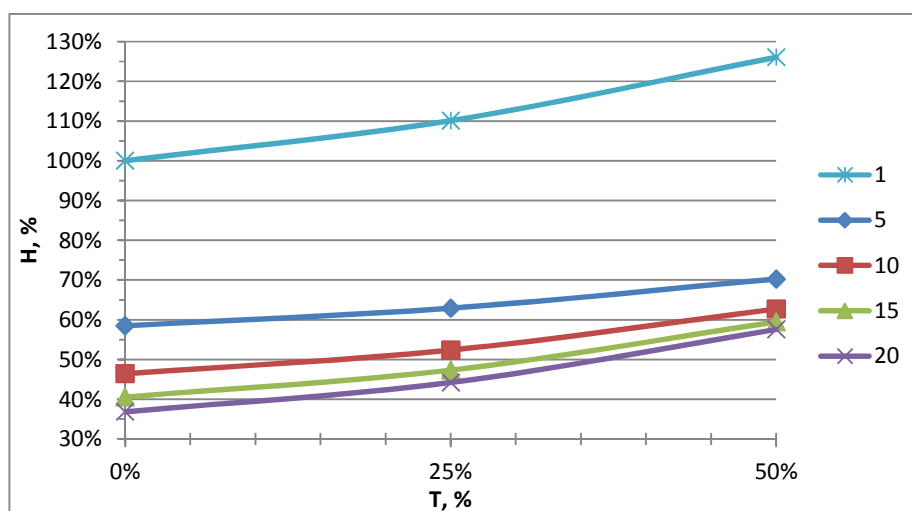
Apkrautų tarpatramių skaičius	$\Delta f, \%$			
	Tarpatramių skaičius (n)			
	5	10	15	20
1	120,1%	135,1%	146,5%	156,1%
1+2	109,5%	120,1%	128,3%	135,1%
1+2+3	104,8%	113,5%	120,2%	125,8%

Kintant bendram visos konstrukcijos tarpatramių skaičiui netiesiškai keičiasi ir visos konstrukcijos skėtimo jėga: jų daugėjant – skėtimo jėga mažėja (3.14 pav.). Kuo daugiau apkrautų tarpatramių, tuo didinant bendrą jų skaičių skėtimo jėga artėja prie maksimalios, t.y. visos konstrukcijos apkrovimo atveju gaunamos jėgos, kuri nepriklauso nuo bendro konstrukcijos tarpatramių skaičiaus.



3.14 pav. Daugiaatramės neįtemptosios ir įtemptosios stygos skėtimo jėgos priklausomybė nuo bendro tarpatramių ir apkrautų tarpatramių skaičiaus

Didinant išankstinį įtempimą ir nekeičiant elementų skerspjūvio ploto skėtimo jėga ir vieno tarpatramio ir kelių tarpatramių konstrukcijoje didėja (3.15 pav.). Kaip auga skėtimo jėga didinant išankstinį įtempimą apkrovus du ir tris, bet kuriuos kitus konstrukcijos tarpatramius parodyta B.4 ir B.5 paveiksluose.



3.15 pav. Daugiaatramės stygos skėtimo jėgos priklausomybė nuo išankstinio įtempimo esant apkrautam vienam tarpatramiui ir skirtingam tarpatramių skaičiui visoje konstrukcijoje

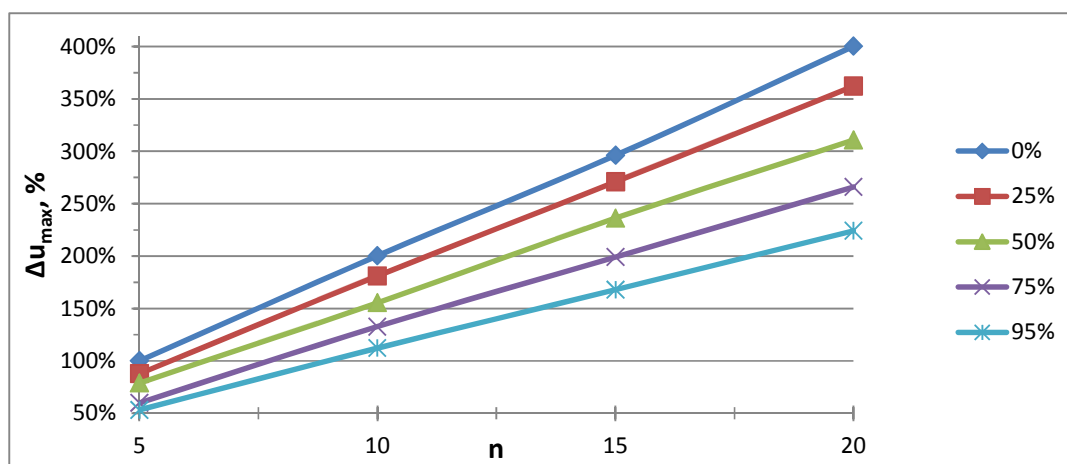
Kaip buvo parodyta 3.1 poskyryje, daugiaatramės styginės konstrukcijos yra nejautrios asimetriniam apkrovimui: tarpatramių vertikalūs poslinkiai, skėtimo jėgos bei įtempiai išlieka nepakitę apkrovus bet kurį konstrukcijos tarpatramį. Tačiau asimetrinės apkrovos lemia tarpinių atramų horizontalius poslinkius. Daugiaatramėje stygoje svarbu nustatyti, kuriuo apkrovimo atveju atramų horizontalūs poslinkiai bus didžiausi ir kaip jie kinta didinant visos konstrukcijos tarpatramių skaičių.

Baigtinių elementų programa modeliuojamos konstrukcijos paveikiamos skirtingais apkrovimų deriniais, kol nustatomas didžiausias atramos horizontalus poslinkis. Jų absoliutinės reikšmės kiekvienoje konstrukcijoje pateiktos 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Maksimalus tarpinės atramos poslinkis skirtingą tarpatramių skaičių turinčiose konstrukcijose

$\Delta u_{\max}, m$					
Konstrukcijos matmenys (n x l)	Išankstinis įtempimas (T)				
	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %
5 x 20	0,00312	0,00274	0,00246	0,00187	0,00166
10 x 20	0,00625	0,00565	0,00485	0,00414	0,00350
15 x 20	0,00944	0,00845	0,00737	0,00621	0,00524
20 x 20	0,01260	0,01130	0,00970	0,00830	0,00699

Didėjant tarpatramių skaičiui maksimalus horizontalus tarpinių atramų poslinkis esant bet kokiam įtempimui auga, o esant vienodam skaičiui tarpatramių ir didinant išankstinio įtempimo jėgą mažėja (3.16 pav.).



3.16 pav. Daugiaatramės stygos maksimalus tarpinės atramos horizontalus poslinkis didėjant konstrukcijos tarpatramių skaičiui ir išankstiniam įtempimui

Visais nagrinėjamais atvejais pavojingiausi horizontalūs poslinkiai gaunami apkrovus kraštinius tarpatramius (apkraunant vidurinius, tarpinės atramos iš abiejų pusių pasislenka simetriškai apkrautųjų tarpatramių link ir šių poslinkių reikšmės absoliutiniu didumu yra mažesnės), skiriasi tik apkrautų tarpatramių skaičius. Kai konstrukcija neįtempta ir turi penkis tarpatramius, didžiausias tarpinės atramos (II atramos) poslinkis yra apkrovus vieną tarpatramį, kai neįtempta konstrukcija sudaryta iš dešimties tarpatramių, labiausiai pasislenka IV atrama (apkraunant 1+2+3 tarpatramius). Esant dar ilgesnėms neįtemptoms ir įtemptoms konstrukcijoms maksimalius tarpinių atramų horizontalius poslinkius sukeltys deriniai pateikti 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Didžiausius horizontalius poslinkius daugiaatramėse konstrukcijose sukeliantys apkrovų deriniai

Konstrukcijos matmenys (n x l)	Išankstinis įtempimas (T)				
	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %
5 x 20	1	1+2	1+2	1+2+3	1+2+3
10 x 20	1+2	1+2+3	1+2+3	1+2+3+4	1+2+3+4+5
15 x 20	1+2+3+4	1+2+3+4+5	1+2+3+4+5	1+...+6	1+...+7
20 x 20	1+2+3+4+5	1+...+6	1+...+6	1+...+9	1+...+10

Iš pateiktų duomenų galima matyti, kad kuo mažesnis išankstinis įtempimas ir kuo mažiau tarpatramių turi konstrukcija, tuo mažesnis apkrautų tarpatramių skaičius sukelia maksimalų atramos horizontalų poslinkį. Įtempimo jėgai esant 50 % skėtimo jėgos, didžiausias tarpinės atramos poslinkis bus apkrovus apie trečdalį visos konstrukcijos, o įtempimui esant daugiau nei 95 % skėtimo jėgos – pusę visos konstrukcijos.

3.3 Techninis styginio tilto konstrukcijos efektyvumas

Kaip minėta anksčiau, vienajuostė kabanti konstrukcija turi mažiausią skerspjūvio aukštį iš visų iki šiol žinomų tiltų konstrukcijų. Jų pagrindiniams laikantiesiems elementams naudojami didelio stiprumo plieniniai lynai bei plieniniai lakštai ir tiesiogiai ant jų įrengiamas paklotas (Schlaich, Bergman 1992, Strasky 2005). Tačiau lyginant su įprastomis lenkiamomis konstrukcijomis jos yra labai deformatyvios (Kulbach 1999, Juozapaitis, Norkus 2004, Sandovič 2011).

Kaip parodyta šiame darbe, projektuojant iš anksto įtemptųjų styginių konstrukcijų pėsčiųjų tiltą, jo skerspjūvio aukštis gali būti dar mažesnis negu vienajuosčių kabamųjų tiltų. Jiems taip pat naudojami didelio stiprumo plieniniai lynai ir ant jų tiesiogiai gali būti įrengiamas paklotas. Šios tiltų sistemos neturi pradinio įsvyrio ir todėl, lyginant jas su vienajuostėmis kabančiomis konstrukcijomis, jose veikia didesnė skėtimo jėga (B.3 ir B.4 lentelės). Ją labai didina ir išankstinis įtempimas, todėl pamatai, kuriuose inkaruojamos stygos, turi būti masyvesni negu vienajuosčių konstrukcijų pamatai. Tačiau projektuojant daugiaatrames konstrukcijas skėtimo jėga visuose tarpatramiuose yra vienoda, todėl masyvūs pamatai reikalingi tik tilto pradžioje ir pabaigoje.

Siekiant suvaldyti vienajuosčių tiltų vertikalius poslinkius dažniausiai įrengiamas sunkus paklotas. Styginėms pėsčiųjų tiltams gali būti įrengiamas ir lengvas paklotas, kadangi konstrukcijos poslinkiai yra suvaldomi išankstiniu įtempimu, o automobilinio transporto tiltai gali būti įrengiami ir visai be pakloto. Tai dar viena teigiama styginių konstrukcijų savybė, kadangi vienajuosčiai kabanieji tiltai dėl pradinio įsvyrio sunkiai pritaikomi automobilių eismui.

Vieno tarpatramio vienajuostis kabamasis tiltas yra ekonomiškai efektyvesnis esant simetriniam ir asimetriniam, kai $\gamma = 1$, apkrovimui nei bet kuri kita styginė sistema. Didėjant pradiniam vienajuosčio kabamo tilto įsvyriui, griežtėjant ribinių poslinkių sąlygai ($l/200 - l/800$) ar didėjant laikinosios bei nuolatinės apkrovos santykiui γ vienajuostė kabamoji konstrukcija tampa judri ir jos bendruosius vertikalius poslinkius suvaldyti yra sudėtinga. Dar judresnė yra vienajuostė daugiaatramė konstrukcija, kadangi veikiant asimetrinėms apkrovoms horizontalia kryptimi paslankios tarpinės atramos pasislenka į apkrauto tarpatramio pusę taip dar labiau padidindamos tarpatramio suminius (kinematinčius ir tampriuosius) poslinkius.

Kaip parodyta šiame skyriuje, daugiaatramės styginės konstrukcijos taip pat yra deformatyvesnės negu vieno tarpatramio styginės konstrukcijos, tačiau beveik nejautrios asimetriniam apkrovimui. Šiuo atveju projektuojant daugiaatrames iš anksto įtemptąsias stygines sistemas dėl mažų vertikalų bei horizontalių poslinkių jos yra žymiai efektyvesnė nei daugiatramė vienajuostė kabamoji konstrukcija.

20 m tarpatramio ilgio standartinio vienajuosčio ($f_0 = l/40$), neįtemptosios ir įtemptosios stygos poslinkiai, skerspjūvio plotai bei skėtimo jėgos esant skirtingiems apkrovimo variantams (simetriniam ir asimetriniam) nevertinant savojo konstrukcijos svorio pateikti B.3 lentelėje, o B.6 ir B.7 paveiksluose grafiškai pateiktas tokių konstrukcijų vertikalų poslinkių kitimas ir skerspjūvio plotų palyginimas. Dviejų tarpatramių vienajuosčių kabamųjų, neįtemptosios ir įtemptosios stygos vidurinės atramos horizontalių poslinkių esant ribiniai poslinkių sąlygai $l/200$ palyginimas pateiktas B.8 paveiksle.

Ir vienajuostės kabamos konstrukcijos, ir iš anksto įtemptos styginės tiltų sistemos turi privalumų ir trūkumų. Todėl konkrečiu atveju parenkama geriausia, techniškai ir ekonomiškai efektyviausia bei geografinėje vietovėje tinkanti tilto konstrukcija.

3.4 Rezultatai ir išvados

Apibendrinant atliktą penkiaatramės, skirtingų tarpatramių ilgių, styginės konstrukcijos ir 20 m tarpatramio ilgio, bet skirtingų tarpatramių skaičiaus, styginių konstrukcijų analizę galima padaryti tokias išvadas.

1. Suprojektavus visiškai apkrautą daugiaatramę styginę konstrukciją pagal tinkamumo ribinį būvį ir apkrovus tik vieną tarpatramį jos poslinkis padidėja daugiau negu 70 %, o apkrovus du ar tris tarpatramius atitinkamai 35 % ir 18 % lyginant su tokių pat parametru vieno tarpatramio ilgio stygine konstrukcija.

2. Didėjant konstrukcijos tarpatramio ilgiui didėja ir vertikalūs poslinkis esant tam pačiam elementų skerspjūvio plotui. Tarpatramio ilgiui padidėjus nuo 20 m iki 35 m vieno tarpatramio poslinkis padidėja šiek tiek daugiau nei du kartus, o tarpatramiui padidėjus iki 45 m beveik tris kartus.

3. Suteikus konstrukcijai išankstinį įtempimą vertikalūs poslinkiai mažėja. Apkrovus tik vieną tarpatramį poslinkis mažėja staigiau negu esant apkrautiems keliems tarpatramiams. Vieno tarpatramio poslinkis prie 95 % išankstinio įtempimo sumažėja 67 %, o trijų tarpatramių tik 17 %.

4. Poslinkis auga ir didėjant tarpatramių skaičiui, nes visa konstrukcija tampa „judresnė“. Apkrovus neįtemptos dvidešimties tarpatramių konstrukcijos vieną, du ar tris tarpatramius vertikalūs poslinkis yra 59 % didesnė nei penkių, tokio paties tarpatramio ilgio, tarpatramių konstrukcijos.

5. Įtemptojoje ir neįtemptojoje daugiaatramėje styginėje konstrukcijoje praktiškai nepasireiškia kinematiniai poslinkiai ir ji yra visiškai nejautri asimetrinėms apkrovoms. Įsvyris apkrovus bet kurį tarpatramį sąlyginai išlieka nepakitęs.

6. Skėtimo jėga ir įtempiai visoje konstrukcijoje yra vienodi ir tolygiai didėja didinant tarpatramio ilgį ir apkraunamų tarpatramių skaičių. Didinant išankstinį įtempimą daugiaatramėje konstrukcijoje skėtimo jėga netiesiškai auga, o didinant visos konstrukcijos tarpinių atramų skaičių – netiesiškai mažėja.

7. Tarpinių atramų horizontalūs poslinkiai tarpatramiams ilgėjant auga netiesiškai, o daugėjant tarpatramių skaičiui – tiesiškai. Maksimalus poslinkis konstrukcijoje, tarpatramių skaičiui išaugus nuo penkių iki dvidešimties (įtemptajai ir neįtemptajai stygai) padidėja daugiau negu 4 kartus. Horizontaliems poslinkiams didelį poveikį turi ir išankstinio įtempimo jėga. Kuo ji didesnė, tuo labiau ribojami vieno tarpatramio apkrautų konstrukcijų poslinkiai. Didžiausia tarpinės atramos poslinkis, įtempimo jėgai esant 50 % bus apkrovus trečdali, o esant 95 % apkrovus pusę visos daugiaatramės konstrukcijos.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Atlikus neįtemptosios vieno tarpatramio styginės konstrukcijos analizę nustatyta, kad reikalingas minimalus, tinkamumo ribinį būvį tenkinantis skerspjūvio plotas yra labai didelis, o elementuose atsirandantys įtempiai santykinai maži. Tokios konstrukcijos nėra efektyvios, o joms projektuoti gali būti naudojamos mažesnio stiprio medžiagos, plastikas ar medis.

2. Atlikus įtemptosios vieno tarpatramio styginės konstrukcijos lyginamąją analizę nustatyta, kad didinant išankstinį įtempimą konstrukcijos skerspjūvio plotą galima sumažinti apie 100 kartų. Didėjant išankstiniam įtempimui konstrukcijos bendrieji įtempiai labai išauga, tačiau kartu ženkliai sumažėja skerspjūvio plotas. Taip pat nustatyta, kad išankstinis įtempimas varžo konstrukcijos vertikaluosius poslinkius, tačiau didina skėtimo jėgą. Išankstiniam įtempimui esant 95 % nuo konstrukcijoje veikiančios skėtimo jėgos elemento poslinkis sumažėja 63 %, o skėtimo jėga padidėja net 115 %, lyginant ją su tokio pat ilgio neįtemptąja styga.

3. Atlikus temperatūros poveikio analizę įtemptoms ir neįtemptoms styginėms konstrukcijoms nustatyta, kad kuo styga trumpesnė, tuo ji jautriau reaguoja į temperatūros pokyčius. Išankstinis įtempimas mažina poveikių efektus, tačiau skaitinis jo dydis didelės reikšmės neturi. Taip pat nustatyta, kad styginėms konstrukcijoms pavojingesnis yra aplinkos temperatūros mažėjimas, kadangi besitraukiančioje konstrukcijoje sukeliamas didesnis skėtimo jėgos pokytis, negu esant tam pačiam teigiamam temperatūros šuoliui.

4. Atlikus daugiaatramių styginių konstrukcijų lyginamąją analizę nustatyta, kad apkrovus tik vieną bet kurį konstrukcijos tarpatramį jo poslinkis padidėja daugiau negu 70 % lyginant su vieno tarpatramio konstrukcijos poslinkio reikšmėmis. Kuo didesnis išankstinis įtempimas, tuo labiau varžomi vieno tarpatramio ir šiek tiek mažiau kelių tarpatramių vertikalūs įlinkiai. Taip pat nustatyta, kad daugiaatramė styginė konstrukcija praktiškai nejautri asimetriniam apkrovimui ir elementų poslinkis apkrovus bet kurį tarpatramį sąlyginai išlieka nepakitęs.

5. Atlikus daugiaatramių styginių konstrukcijų lyginamąją analizę keičiant tarpatramio ilgį bei tarpatramių skaičių nustatyta, kad didinant tarpatramio ilgį ir išankstinį įtempimą skėtimo jėga ir įtempiai visoje konstrukcijoje didėja. Didinant visos konstrukcijos tarpinių atramų skaičių veikianti skėtimo jėga ir įtempiai netiesiškai mažėja. Didžiausi tarpinių atramos horizontalūs poslinkiai įtempimo jėgai esant 50 % gaunami apkrovus trečdalį, o esant 95 % apkrovus pusę visos daugiaatramės konstrukcijos.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Baus, U., Schlaich, M., Dechau, W. 2008. *Footbridges: Construction, Design, History*. Basel - Berlin: Birkhäuser, 255 S.
- Bleicher, A., Schlaich, M., Fujinof, Y., Schauer, T. 2011. Model-based design and experimental validation of active vibration control for a stress ribbon bridge using pneumatic muscle actuators, *Engineering structures*, 33 (8):2237–2247.
- Bleicher, A. 2011. *Aktive Schwingungskontrolle einer Spannbandbrücke mit pneumatischen Aktuatoren*. Genehmigte Dissertation. Berlin. 210 S.
- Gimsing, N. J. 1997. *Cable Supported Bridges: Concept and Design*, 2nd edition. John Wiley & Sons, Chichester. 480 p, ISBN 0471969397.
- Hegner-van Rooden, C. 2015. *Fussgängersteg. Birchweid*. Das Guckloch, Nr. 1, Gesellschaft für Ingenieurbaukunst. 10 S.
- Juozapaitis, A., Grigorjeva, T., Sandovič, G., Misiūnaitė, I. 2012. *Inovatyvūs plieno tiltai*. Vilnius: Technika. 198 p.
- Juozapaitis, A.; Norkus, A. 2004. Displacement analysis of asymmetrically loaded cable, *Journal of Civil Engineering and Management* 10(4): 277–284.
- Kulbach, V. 1999. Half-span loading of cable structures, *Journal of Constructional Steel Research* 49(2): 167–180.
- Li, F., Wu, P., Liu, D. 2012. Experimental study on the cable rigidity and static behaviors of ARERORail structure. *Steel and Composite Structures*. Vol. 12, No. 5: 427 – 444, ISSN: 1229-9367.
- Rogers, J. D. 2004. *Design of Prestressed Barrier Cable Systems*. Post-Tensioning Institute, Technical Notes. Phoenix: Issue 14, 8 p.
- Sandovič, G. 2011. Simplified Engineering Method of Suspension two-span Pedestrian Steel Bridges with Flexible and Rigid Cables under Action of Asymmetrical Loads. *The Baltic Journal of Road and bridge Engineering* 6(4): 267 – 273.
- Schlaich, J.; Bergerman, R. 1992. *Fußgängerbrücken*. Zurich (ETH): Schwabische Druckerei GmbH.
- Schlaich, M., Bögle, A., Bleicher, A. 2011. *Brückenbau II – Seile*. Institut für Bauingenieurwesen, Technische Universität Berlin, 47 S.
- Schlaich, M., Brownlie, K., Conzett, J., Sobrino, J., Strasky, J., Takenouchi, Mrs. Kyo 2005. fib Bulletin 32. *Guidelines for the design of footbridges*. Sprint-Digital-Druck, Stuttgart. 154 S. ISSN 1562-360, ISBN 2-88394-072X.
- Schlaich, M., Geißler, K., Schmid, V. 2013. *Kompetenzzentrum Brückenbau – Sachstand und Strategie*. Fakultät VI, Institut für Bauingenieurwesen. 19 S.

- Strasky, J. 2006. *Stress Ribbon and Cable-supported Pedestrian Bridges*. Teze doktorské disertační, 40 p.
- Strasky, J. 2005. *Stress Ribbon and Cable-supported Pedestrian Bridges*. London: Thomas Telford Ltd., 240 p.
- Tibert, G. 1999. *Numerical Analyses of Cable Roof Structures*. Departament of Structural Engineering, Royal Institute of Technology. Stockholm: TS-Högskoletryckeriet. 174 p.
- Unitsky, A. 2006. *String Transport Unitsky in questions and answers*. Moscow.
- Unitsky, A. 2008. *Illustrations of double-rail STU*. Moscow.
- Walther, R. 1969. Spannbandbrücken, *Schweizer Bauzeitung*, 87, Heft 8: 133-137.
- Москалев Н.С. 1980. *Конструкции висячих покрытий*. Москва: Стройиздат, 336 с

Elektroniniai šaltiniai:

- AD classics: Munich Olympic Stadium / Frei Otto & Gunther Behnisch, Archdaily [interaktyvus], 2011. [žiūrėta: 2015-05-19] Prieiga per internetą: <<http://www.archdaily.com/109136/ad-classics-munich-olympic-stadium-frei-otto-gunther-behnisch/>>
- Bauikone Birchweid [ineraktyvus], 2010. Ingbaukunst [žiūrėta 2015-05-02]. Prieiga per internetą: <<http://www.ingbaukunst.ch/de/geschichten/wanderwege/birchweid.html>>
- Bridge across the Sacramento River [interaktyvus], 2005. Starsky, Husty and Partners Ltd [žiūrėta 2015-05-08]. Prieiga per internetą: <<http://www.shp.eu/en/strasky-husty-a-partneri/projects/bridges/pedestrian-bridges/stress-ribbon-bridges/bridge-across-the-sacramento-river-redding-california-usa/>>
- Estampes d'Hokusai [interaktyvus]. Artmemo [žiūrėta 2015-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.artmemo.fr/ventes_estampes/Ventes_Hokusai.htm>
- Fabric makes home [interaktyvus], 2015. Stylepark [žiūrėta: 2015-05-19] Prieiga per internetą:< <http://www.stylepark.com/en/news/fabric-makes-home/358910>>
- Qeswachaka – A Handwoven Bridge Made of Grass [interaktyvus], 2010. Odditycentral [žiūrėta 2015-05-02]. Prieiga per internetą: <<http://www.odditycentral.com/pics/qeswachaka-a-handwoven-bridge-made-of-grass.html>>
- Seven Wirre Steel Barrier [interaktyvus], 2015. Rimrock engineering [žiūrėta: 2015-05-25] Prieiga per internetą: <<http://www.rimrockengineering.com/pages/project-alta-montecito-garage-cable-barrier.html>>

String train, STU [interaktyvus], 2015. Unitsky String Technologies [žiūrėta: 2015-05-25]

Prieiga per internetą: <http://www.yunitskiy.com/author/press_en.htm>

The story of the string train [interaktyvus], 2009. English Russia [žiūrėta: 2015-05-25]

Prieiga per internetą: <<http://englishrussia.com/2009/06/29/the-story-of-the-string-train/2/>>

PRIEDAI

A priedas

A.1 lentelė. Įtemptos styginės konstrukcijos analitinio ir skaitinio metodo skaičiavimo rezultatų palyginimas, kai skerspjūvio plotas nekinta

Ribinio įlinkio sąlyga	L _i , m	Suteikiamas išankstinis įtempimas T, kN												Δf _{lim} , m	g+p, kN/m	A, m ²
		0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%			
1/400	25	0	2041,42	2607,26	4493,74	5969,14	7716,07	11280,96	12962,19	15158,40	18372,75	24434,23	43541,18	0,0625	7,58	2,7075
	20	0	1633,13	2085,81	3594,99	4775,31	6172,86	9024,77	10369,75	12126,72	14698,20	19547,38	34832,94	0,05	7,58	2,166
	15	0	1224,98	1564,52	2696,52	3581,85	4630,12	6769,27	7778,11	9095,98	11024,78	14662,04	26127,39	0,0375	7,58	1,625
1/200	25	0	1020,77	1303,71	2247,01	2984,75	3858,27	5640,83	6481,49	7579,67	9186,94	12217,86	21771,93	0,125	7,58	0,3385
	20	0	816,82	1043,23	1798,05	2388,39	3087,38	4513,77	5186,47	6065,23	7351,36	9776,70	17421,83	0,1	7,58	0,271
	15	0	612,86	782,74	1349,09	1792,03	2316,48	3386,72	3891,45	4550,78	5515,78	7335,53	13071,73	0,075	7,58	0,2035
1/100	25	0	511,14	652,82	1125,16	1494,58	1931,98	2824,57	3245,53	3795,42	4600,25	6117,94	10902,02	0,25	7,58	0,0425
	20	0	408,91	522,25	900,13	1195,66	1545,59	2259,66	2596,42	3036,34	3680,20	4894,35	8721,62	0,2	7,58	0,034
	15	0	306,68	391,69	675,10	896,75	1159,19	1694,74	1947,32	2277,25	2760,15	3670,77	6541,21	0,15	7,58	0,0255
Ribinio įlinkio sąlyga	L _i , m	A, m ²	Δf, m													
			Analitis													
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%		
1/400	25	2,708	0,062	0,058	0,057	0,053	0,050	0,046	0,039	0,037	0,033	0,029	0,023	0,013		
	20	2,166	0,050	0,046	0,045	0,042	0,040	0,037	0,031	0,029	0,027	0,023	0,018	0,011		
	15	1,625	0,037	0,035	0,034	0,032	0,030	0,028	0,024	0,022	0,020	0,017	0,014	0,008		
1/200	25	0,339	0,125	0,116	0,114	0,105	0,099	0,092	0,079	0,073	0,066	0,058	0,046	0,027		
	20	0,271	0,100	0,093	0,091	0,084	0,079	0,074	0,063	0,058	0,053	0,046	0,037	0,022		
	15	0,204	0,075	0,070	0,068	0,063	0,059	0,055	0,047	0,044	0,040	0,035	0,028	0,016		
1/100	25	0,043	0,250	0,232	0,227	0,211	0,198	0,184	0,157	0,146	0,133	0,116	0,092	0,054		
	20	0,034	0,200	0,185	0,181	0,168	0,158	0,147	0,126	0,117	0,106	0,093	0,074	0,043		
	15	0,026	0,150	0,139	0,136	0,126	0,119	0,110	0,094	0,088	0,080	0,070	0,055	0,032		

A.1 lentelės tęsinys

Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	A, m^2	$\Delta f, m$											
			Skaitiniais											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
1/400	25	2,708	0,064	0,059	0,058	0,054	0,051	0,047	0,040	0,037	0,034	0,030	0,023	0,014
	20	2,166	0,051	0,047	0,046	0,043	0,040	0,038	0,032	0,030	0,027	0,024	0,019	0,011
	15	1,625	0,038	0,035	0,035	0,032	0,030	0,028	0,024	0,022	0,020	0,018	0,014	0,008
1/200	25	0,339	0,127	0,118	0,116	0,107	0,101	0,094	0,080	0,075	0,068	0,059	0,047	0,027
	20	0,271	0,102	0,095	0,093	0,086	0,081	0,075	0,064	0,060	0,054	0,047	0,038	0,022
	15	0,204	0,076	0,071	0,069	0,064	0,061	0,056	0,048	0,045	0,041	0,035	0,028	0,016
1/100	25	0,043	0,255	0,236	0,231	0,215	0,202	0,188	0,160	0,149	0,135	0,118	0,094	0,055
	20	0,034	0,204	0,189	0,185	0,172	0,162	0,150	0,128	0,119	0,108	0,095	0,075	0,044
	15	0,026	0,153	0,142	0,139	0,129	0,121	0,113	0,096	0,089	0,081	0,071	0,056	0,033
Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	A, m^2	$\Delta f, m$											
			Skirtumas											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
1/400	25	2,708	-1,96%	-1,95%	-1,97%	-1,97%	-1,97%	-1,96%	-1,95%	-1,95%	-1,97%	-1,97%	-1,98%	-1,97%
	20	2,166	-1,96%	-1,95%	-1,97%	-1,97%	-1,96%	-1,96%	-1,95%	-1,95%	-1,98%	-1,95%	-1,96%	-1,93%
	15	1,625	-1,96%	-1,96%	-1,95%	-1,95%	-1,95%	-1,97%	-1,95%	-1,98%	-1,95%	-1,93%	-1,93%	-2,01%
1/200	25	0,339	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,97%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,98%
	20	0,271	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,97%	-1,97%	-1,96%	-1,96%	-1,97%
	15	0,204	-1,96%	-1,95%	-1,95%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,97%	-1,97%	-1,96%	-1,97%	-1,96%	-1,94%
1/100	25	0,043	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%
	20	0,034	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,97%	-1,95%
	15	0,026	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,96%	-1,97%	-1,95%	-1,97%

A.1 lentelės tęsinys

Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	A, m^2	H_i, kN											
			Analitinis											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
I/400	25	2,708	9475,42	10207,08	10429,05	11234,35	11938,28	12860,12	15041,29	16202,73	17833,42	20414,17	25720,24	43980,99
	20	2,166	7580,33	8165,67	8343,24	8987,48	9550,62	10288,10	12033,03	12962,19	14266,73	16331,33	20576,19	35184,79
	15	1,625	5685,83	6124,88	6258,07	6741,30	7163,70	7716,86	9025,70	9722,64	10701,15	12249,76	15433,73	26391,30
I/200	25	0,339	4738,00	5103,86	5214,84	5617,52	5969,51	6430,46	7521,11	8101,87	8917,26	10207,71	12860,91	21991,85
	20	0,271	3791,33	4084,09	4172,90	4495,12	4776,78	5145,63	6018,37	6483,09	7135,56	8168,18	10291,26	17597,81
	15	0,204	2844,67	3064,32	3130,96	3372,72	3584,05	3860,80	4515,62	4864,31	5353,86	6128,64	7721,61	13203,77
I/100	25	0,043	2372,49	2555,69	2611,27	2812,90	2989,16	3219,97	3766,10	4056,91	4465,20	5111,38	6439,94	11012,14
	20	0,034	1898,00	2044,55	2089,01	2250,32	2391,32	2575,98	3012,88	3245,53	3572,16	4089,11	5151,95	8809,71
	15	0,026	1423,50	1533,42	1566,76	1687,74	1793,49	1931,98	2259,66	2434,14	2679,12	3066,83	3863,96	6607,29
Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	A, m^2	H_i, kN											
			Skaitinis											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
I/400	25	2,708	9475,89	10207,08	10429,04	11234,35	11938,28	12860,12	15041,28	16202,74	17833,41	20414,17	25720,24	43980,99
	20	2,166	7580,33	8165,67	8343,24	8987,48	9550,62	10288,10	12033,03	12962,19	14266,73	16331,33	20576,19	35184,79
	15	1,625	5685,83	6124,88	6258,07	6741,30	7163,70	7716,86	9025,70	9722,64	10701,15	12249,76	15433,73	26391,30
I/200	25	0,339	4738,00	5103,86	5214,84	5617,52	5969,50	6430,45	7521,11	8101,86	8917,26	10207,71	12860,91	21991,85
	20	0,271	3791,33	4084,09	4172,90	4495,12	4776,78	5145,63	6018,36	6483,09	7135,56	8168,18	10291,26	17597,81
	15	0,204	2844,67	3064,32	3130,96	3372,72	3584,06	3860,80	4515,63	4864,31	5353,86	6128,64	7721,61	13203,77
I/100	25	0,043	2372,49	2555,69	2611,27	2812,90	2989,16	3219,97	3766,10	4056,91	4465,20	5111,39	6439,94	11012,14
	20	0,034	1898,00	2044,55	2089,01	2250,32	2391,32	2575,98	3012,88	3245,53	3572,16	4089,11	5151,95	8809,72
	15	0,026	1423,50	1533,41	1566,76	1687,74	1793,49	1931,98	2259,66	2434,15	2679,12	3066,83	3863,97	6607,28

A.1 lentelės tęsinys

Ribinio įlinkio sąlyga	L_0, m	A, m^2	H_1, kN											
			Skirtumas											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
1/400	25	2,708	-0,0050%	0,0000%	0,0001%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%
	20	2,166	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%
	15	1,625	0,0001%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%
1/200	25	0,339	0,0000%	-0,0001%	0,0001%	0,0000%	0,0001%	0,0001%	-0,0001%	0,0001%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%
	20	0,271	0,0001%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0001%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%
	15	0,204	-0,0002%	0,0001%	0,0000%	0,0001%	-0,0002%	0,0001%	-0,0001%	0,0000%	0,0001%	0,0001%	0,0000%	0,0000%
1/100	25	0,043	0,0002%	0,0001%	-0,0001%	0,0001%	-0,0002%	0,0000%	0,0000%	-0,0001%	0,0001%	-0,0001%	0,0000%	0,0000%
	20	0,034	-0,0002%	0,0002%	0,0002%	0,0001%	0,0002%	-0,0002%	0,0000%	-0,0001%	0,0001%	-0,0001%	0,0000%	-0,0001%
	15	0,026	-0,0002%	0,0003%	0,0000%	0,0001%	0,0002%	0,0001%	0,0000%	-0,0002%	0,0001%	0,0000%	-0,0002%	0,0001%
Ribinio įlinkio sąlyga	L_0, m	A, m^2	σ, MPa											
			Analitinis											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
1/400	25	2,708	3,50	3,77	3,85	4,15	4,41	4,75	5,56	5,98	6,59	7,54	9,50	16,24
	20	2,166	3,50	3,77	3,85	4,15	4,41	4,75	5,56	5,98	6,59	7,54	9,50	16,24
	15	1,625	3,50	3,77	3,85	4,15	4,41	4,75	5,55	5,98	6,59	7,54	9,50	16,24
1/200	25	0,339	14,00	15,08	15,41	16,60	17,64	19,00	22,22	23,93	26,34	30,16	37,99	64,97
	20	0,271	13,99	15,07	15,40	16,59	17,63	18,99	22,21	23,92	26,33	30,14	37,98	64,94
	15	0,204	13,98	15,06	15,39	16,57	17,61	18,97	22,19	23,90	26,31	30,12	37,94	64,88
1/100	25	0,043	55,82	60,13	61,44	66,19	70,33	75,76	88,61	95,46	105,06	120,27	151,53	259,11
	20	0,034	55,82	60,13	61,44	66,19	70,33	75,76	88,61	95,46	105,06	120,27	151,53	259,11
	15	0,026	55,82	60,13	61,44	66,19	70,33	75,76	88,61	95,46	105,06	120,27	151,53	259,11

A.1 lentelės pabaiga

Ribinio įlinkio sąlyga	L_0, m	A, m^2	σ, MPa											
			Skaitinis											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
1/400	25	2,708	3,50	3,77	3,85	4,15	4,41	4,75	5,56	5,98	6,59	7,54	9,5	16,24
	20	2,166	3,50	3,77	3,85	4,15	4,41	4,75	5,56	5,98	6,59	7,54	9,5	16,24
	15	1,625	3,50	3,77	3,85	4,15	4,41	4,75	5,55	5,98	6,59	7,54	9,5	16,24
1/200	25	0,339	14,00	15,08	15,41	16,6	17,64	19,0	22,22	23,93	26,34	30,16	37,99	64,97
	20	0,271	13,99	15,07	15,4	16,59	17,63	18,99	22,21	23,92	26,33	30,14	37,98	64,94
	15	0,204	13,98	15,06	15,39	16,57	17,61	18,97	22,19	23,9	26,31	30,12	37,94	64,88
1/100	25	0,043	55,82	60,13	61,44	66,19	70,33	75,75	88,61	95,46	105,06	120,27	151,53	259,11
	20	0,034	55,82	60,13	61,44	66,19	70,33	75,76	88,61	95,46	105,06	120,27	151,53	259,11
	15	0,026	55,82	60,13	61,44	66,19	70,33	75,76	88,61	95,46	105,06	120,27	151,53	259,11
Ribinio įlinkio sąlyga	L_0, m	A, m^2	σ, MPa											
			Skirtumas											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
1/400	25	2,708	-0,009%	-0,002%	0,050%	-0,016%	-0,015%	-0,004%	-0,083%	0,073%	-0,051%	-0,002%	-0,004%	0,025%
	20	2,166	-0,009%	-0,002%	0,050%	-0,016%	-0,015%	-0,004%	-0,083%	0,073%	-0,051%	-0,002%	-0,004%	0,025%
	15	1,625	-0,029%	-0,022%	0,029%	-0,036%	-0,036%	-0,024%	0,077%	0,053%	-0,071%	-0,022%	-0,024%	0,005%
1/200	25	0,339	-0,021%	-0,014%	-0,028%	-0,028%	-0,027%	-0,016%	-0,005%	0,019%	0,013%	-0,014%	0,010%	-0,002%
	20	0,271	0,001%	0,003%	-0,012%	-0,017%	-0,020%	-0,013%	-0,009%	0,012%	0,002%	0,003%	-0,013%	-0,005%
	15	0,204	-0,009%	-0,013%	-0,029%	0,022%	0,012%	0,011%	-0,001%	0,014%	-0,004%	-0,013%	0,011%	0,005%
1/100	25	0,043	0,006%	0,007%	0,003%	-0,006%	0,004%	0,018%	0,005%	-0,004%	0,003%	-0,002%	-0,001%	0,000%
	20	0,034	0,006%	0,007%	0,003%	-0,006%	0,004%	0,005%	0,005%	-0,004%	0,003%	-0,002%	-0,001%	0,000%
	15	0,026	0,006%	0,007%	0,003%	-0,006%	0,004%	0,005%	0,005%	-0,004%	0,003%	-0,002%	-0,001%	0,000%

A.2 lentelė. Įtemptos styginės konstrukcijos analitinio ir skaitinio metodo skaičiavimo rezultatų palyginimas, kai ribinis poslinkis nekinta

Ribinio įlinkio sąlyga	L _i , m	Suteikiamas išankstinis įtempimas T, kN												Δf _{lim} , m	g+p, kN/m
		0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%		
l/400	25	0	1895,00	2368,75	3790,00	4737,50	5685,00	7106,25	7580,00	8053,75	8527,50	9001,25	9380,25	0,0625	7,58
	20	0	1516,00	1895,00	3032,00	3790,00	4548,00	5685,00	6064,00	6443,00	6822,00	7201,00	7504,20	0,05	7,58
	15	0	1137,00	1421,25	2274,00	2842,50	3411,00	4263,75	4548,00	4832,25	5116,50	5400,75	5628,15	0,0375	7,58
l/200	25	0	947,50	1184,38	1895,00	2368,75	2842,50	3553,13	3790,00	4026,88	4263,75	4500,63	4690,13	0,125	7,58
	20	0	758,00	947,50	1516,00	1895,00	2274,00	2842,50	3032,00	3221,50	3411,00	3600,50	3752,10	0,1	7,58
	15	0	568,50	710,63	1137,00	1421,25	1705,50	2131,88	2274,00	2416,13	2558,25	2700,38	2814,08	0,075	7,58
l/100	25	0	473,75	592,19	947,50	1184,38	1421,25	1776,56	1895,00	2013,44	2131,88	2250,31	2345,06	0,25	7,58
	20	0	379,00	473,75	758,00	947,50	1137,00	1421,25	1516,00	1610,75	1705,50	1800,25	1876,05	0,2	7,58
	15	0	284,25	355,31	568,50	710,63	852,75	1065,94	1137,00	1208,06	1279,13	1350,19	1407,04	0,15	7,58
Ribinio įlinkio sąlyga	L _i , m	Δf _{lim} , m	A, m ²												
			Analitinis												
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	
l/400	25	0,0625	2,707	2,166	2,030	1,624	1,354	1,083	0,677	0,541	0,406	0,271	0,135	0,027	
	20	0,05	2,166	1,733	1,624	1,299	1,083	0,866	0,541	0,433	0,325	0,217	0,108	0,022	
	15	0,0375	1,624	1,299	1,218	0,975	0,812	0,650	0,406	0,325	0,244	0,162	0,081	0,016	
l/200	25	0,125	0,338	0,271	0,254	0,203	0,169	0,135	0,085	0,068	0,051	0,034	0,017	0,003	
	20	0,1	0,271	0,217	0,203	0,162	0,135	0,108	0,068	0,054	0,041	0,027	0,014	0,003	
	15	0,075	0,203	0,162	0,152	0,122	0,102	0,081	0,051	0,041	0,030	0,020	0,010	0,002	
l/100	25	0,25	0,042	0,034	0,032	0,025	0,021	0,017	0,011	0,008	0,006	0,004	0,002	0,000	
	20	0,2	0,034	0,027	0,025	0,020	0,017	0,014	0,008	0,007	0,005	0,003	0,002	0,000	
	15	0,15	0,025	0,020	0,019	0,015	0,013	0,010	0,006	0,005	0,004	0,003	0,001	0,000	

A.2 lentelės tęsinys

Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	$\Delta f_{lim}, m$	A, m^2											
			Skaitinis											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
I/400	25	0,0625	2,870	2,307	2,166	1,744	1,463	1,181	0,759	0,618	0,478	0,337	0,196	0,084
	20	0,05	2,296	1,846	1,733	1,396	1,170	0,945	0,607	0,495	0,382	0,270	0,157	0,067
	15	0,0375	1,722	1,385	1,300	1,047	0,878	0,709	0,456	0,371	0,287	0,202	0,118	0,050
I/200	25	0,125	0,359	0,288	0,271	0,218	0,183	0,148	0,095	0,077	0,060	0,042	0,025	0,010
	20	0,1	0,287	0,231	0,217	0,174	0,146	0,118	0,076	0,062	0,048	0,034	0,020	0,008
	15	0,075	0,215	0,173	0,162	0,131	0,110	0,089	0,057	0,046	0,036	0,025	0,015	0,006
I/100	25	0,25	0,045	0,036	0,034	0,027	0,023	0,018	0,012	0,010	0,007	0,005	0,003	0,001
	20	0,2	0,036	0,029	0,027	0,022	0,018	0,015	0,009	0,008	0,006	0,004	0,002	0,001
	15	0,15	0,027	0,022	0,020	0,016	0,014	0,011	0,007	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001
Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	$\Delta f_{lim}, m$	A, m^2											
			Skirtumas											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
I/400	25	0,0625	-6,02%	-6,53%	-6,69%	-7,39%	-8,07%	-9,09%	-12,16%	-14,21%	-17,62%	-24,44%	-44,91%	-208,63%
	20	0,05	-6,03%	-6,54%	-6,71%	-7,40%	-8,08%	-9,10%	-12,17%	-14,22%	-17,64%	-24,47%	-44,96%	-208,86%
	15	0,0375	-6,04%	-6,55%	-6,72%	-7,41%	-8,09%	-9,12%	-12,20%	-14,25%	-17,67%	-24,51%	-45,03%	-209,21%
I/200	25	0,125	-6,01%	-6,52%	-6,69%	-7,37%	-8,05%	-9,07%	-12,13%	-14,18%	-17,58%	-24,39%	-44,81%	-208,16%
	20	0,1	-6,01%	-6,52%	-6,69%	-7,37%	-8,06%	-9,08%	-12,14%	-14,18%	-17,59%	-24,40%	-44,83%	-208,30%
	15	0,075	-6,02%	-6,53%	-6,70%	-7,38%	-8,06%	-9,09%	-12,15%	-14,20%	-17,60%	-24,43%	-44,87%	-208,47%
I/100	25	0,25	-6,00%	-6,52%	-6,68%	-7,36%	-8,04%	-9,06%	-12,13%	-14,16%	-17,58%	-24,38%	-44,78%	-208,04%
	20	0,2	-6,00%	-6,51%	-6,69%	-7,37%	-8,05%	-9,07%	-12,13%	-14,17%	-17,58%	-24,38%	-44,80%	-208,22%
	15	0,15	-6,01%	-6,52%	-6,69%	-7,37%	-8,05%	-9,07%	-12,14%	-14,19%	-17,58%	-24,39%	-44,84%	-208,12%

A.2 lentelės tęsinys

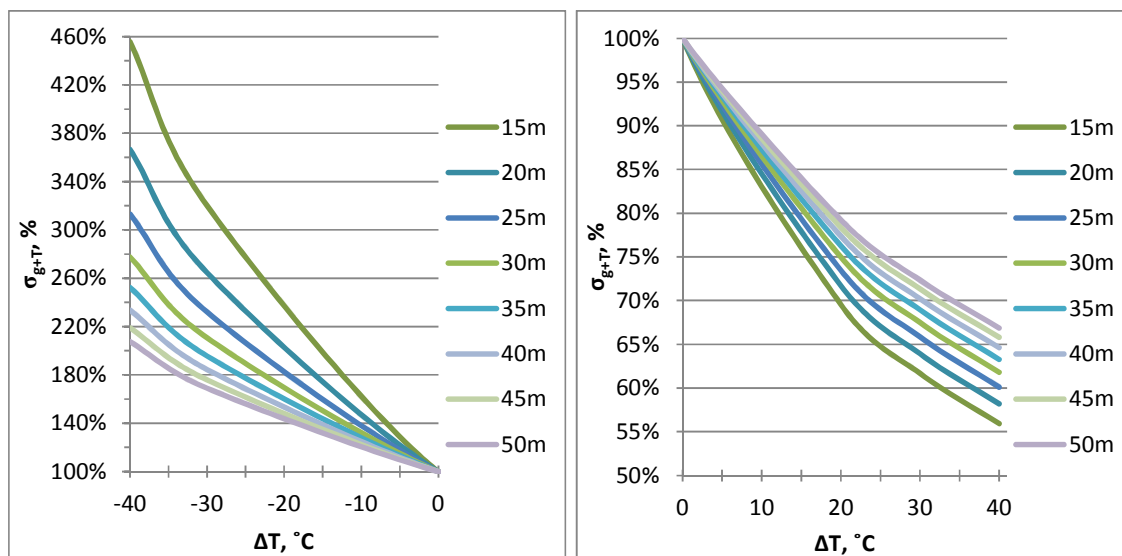
Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	$\Delta f_{lim}, m$	H_i, kN											
			Analitinis											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
I/400	25	0,0625	9475,0	9475,0	9475,0	9475,0	9475,0	9475,0	9475,0	9475,0	9475,0	9475,0	9475,0	9475,0
	20	0,05	7580,0	7580,0	7580,0	7580,0	7580,0	7580,0	7580,0	7580,0	7580,0	7580,0	7580,0	7580,0
	15	0,0375	5685,0	5685,0	5685,0	5685,0	5685,0	5685,0	5685,0	5685,0	5685,0	5685,0	5685,0	5685,0
I/200	25	0,125	4737,5	4737,5	4737,5	4737,5	4737,5	4737,5	4737,5	4737,5	4737,5	4737,5	4737,5	4737,5
	20	0,1	3790,0	3790,0	3790,0	3790,0	3790,0	3790,0	3790,0	3790,0	3790,0	3790,0	3790,0	3790,0
	15	0,075	2842,5	2842,5	2842,5	2842,5	2842,5	2842,5	2842,5	2842,5	2842,5	2842,5	2842,5	2842,5
I/100	25	0,25	2368,8	2368,8	2368,8	2368,8	2368,8	2368,8	2368,8	2368,8	2368,8	2368,8	2368,8	2368,8
	20	0,2	1895,0	1895,0	1895,0	1895,0	1895,0	1895,0	1895,0	1895,0	1895,0	1895,0	1895,0	1895,0
	15	0,15	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3	1421,3
Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	$\Delta f_{lim}, m$	H_i, kN											
			Skaitinis											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
I/400	25	0,0625	9661,5	9661,5	9661,5	9661,5	9661,5	9661,5	9661,5	9661,5	9661,5	9661,5	9661,5	9661,5
	20	0,05	7729,4	7729,4	7729,4	7729,5	7729,5	7729,4	7729,3	7729,4	7729,4	7729,4	7729,3	7729,4
	15	0,0375	5797,2	5797,2	5797,2	5797,2	5797,2	5797,2	5797,2	5797,2	5797,2	5797,2	5797,2	5797,3
I/200	25	0,125	4830,6	4830,6	4830,6	4830,6	4830,6	4830,6	4830,6	4830,6	4830,6	4830,6	4830,6	4830,6
	20	0,1	3864,5	3864,5	3864,5	3864,5	3864,5	3864,5	3864,5	3864,5	3864,5	3864,5	3864,5	3864,5
	15	0,075	2898,4	2898,4	2898,4	2898,4	2898,4	2898,4	2898,4	2898,4	2898,4	2898,4	2898,4	2898,4
I/100	25	0,25	2415,2	2415,3	2415,2	2415,2	2415,2	2415,2	2415,2	2415,2	2415,3	2415,3	2415,2	2415,3
	20	0,2	1932,2	1932,2	1932,2	1932,2	1932,2	1932,2	1932,2	1932,2	1932,2	1932,2	1932,2	1932,2
	15	0,15	1449,2	1449,2	1449,2	1449,2	1449,2	1449,2	1449,2	1449,2	1449,2	1449,2	1449,2	1449,2

A.2 lentelės tęsinys

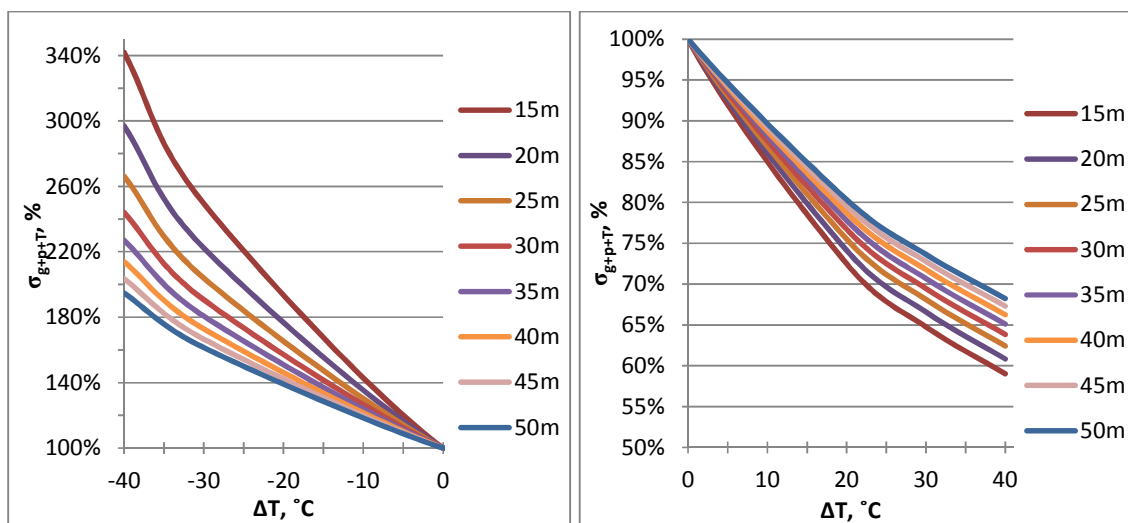
Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	$\Delta f_{lim}, m$	H_i, kN											
			Skirtumas											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
I/400	25	0,0625	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%
	20	0,05	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%
	15	0,0375	1,94%	1,94%	1,94%	1,94%	1,94%	1,94%	1,94%	1,94%	1,94%	1,94%	1,94%	1,94%
I/200	25	0,125	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%
	20	0,1	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%
	15	0,075	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%
I/100	25	0,25	1,92%	1,93%	1,92%	1,92%	1,92%	1,92%	1,92%	1,92%	1,93%	1,93%	1,92%	1,93%
	20	0,2	1,92%	1,92%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%
	15	0,15	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%	1,93%
Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	$\Delta f_{lim}, m$	σ, MPa											
			Analitinis											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
I/400	25	0,0625	3,5	4,4	4,7	5,8	7,0	8,7	14,0	17,5	23,3	35,0	70,0	350,0
	20	0,05	3,5	4,4	4,7	5,8	7,0	8,8	14,0	17,5	23,3	35,0	70,0	350,0
	15	0,0375	3,5	4,4	4,7	5,8	7,0	8,8	14,0	17,5	23,3	35,0	70,0	350,0
I/200	25	0,125	14,0	17,5	18,7	23,3	28,0	35,0	56,0	70,0	93,3	140,0	280,0	1400,0
	20	0,1	14,0	17,5	18,7	23,3	28,0	35,0	56,0	70,0	93,3	140,0	280,0	1400,0
	15	0,075	14,0	17,5	18,7	23,3	28,0	35,0	56,0	70,0	93,3	140,0	280,0	1400,0
I/100	25	0,25	56,0	70,0	74,7	93,3	112,0	140,0	224,0	280,0	373,3	560,0	1120,0	5600,0
	20	0,2	56,0	70,0	74,7	93,3	112,0	140,0	224,0	280,0	373,3	560,0	1120,0	5600,0
	15	0,15	56,0	70,0	74,7	93,3	112,0	140,0	224,0	280,0	373,3	560,0	1120,0	5600,0

A.2 lentelės pabaiga

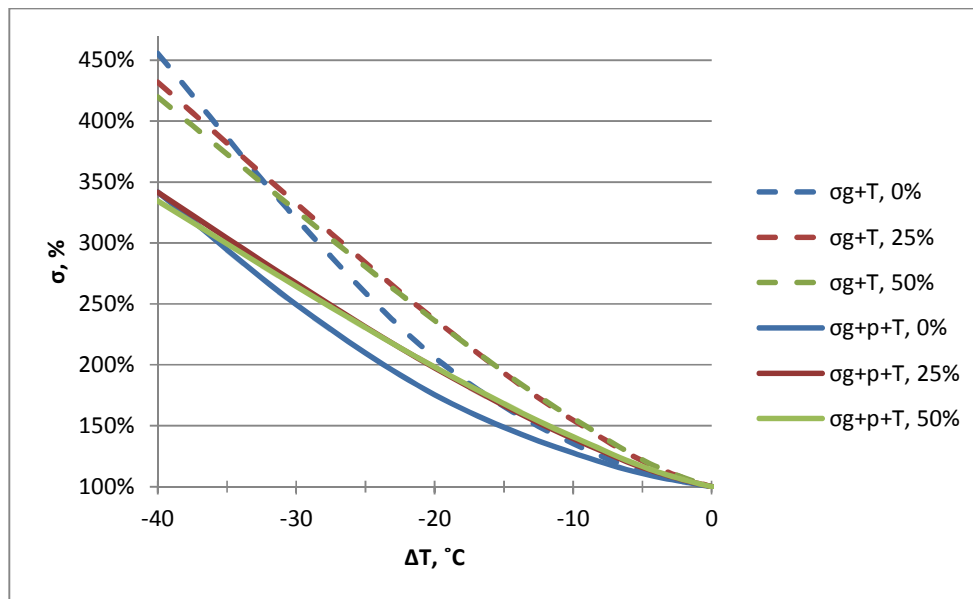
Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	$\Delta f_{lim}, m$	σ, MPa											
			Skaitinis											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
I/400	25	0,0625	3,37	4,19	4,46	5,54	6,6	8,18	12,73	15,62	20,23	28,68	49,26	115,8
	20	0,05	3,37	4,19	4,46	5,54	6,6	8,18	12,73	15,62	20,23	28,67	49,24	115,55
	15	0,0375	3,37	4,19	4,46	5,54	6,6	8,18	12,72	15,62	20,22	28,67	49,22	115,42
I/200	25	0,125	13,47	16,75	17,84	22,16	26,42	32,72	50,92	62,51	80,94	114,76	197,16	463,23
	20	0,1	13,47	16,75	17,84	22,16	26,43	32,72	50,92	62,51	80,93	114,75	197,13	463,03
	15	0,075	13,47	16,75	17,84	22,16	26,42	32,72	50,92	62,5	80,92	114,73	197,08	462,78
I/100	25	0,25	53,86	67,01	71,36	88,64	105,7	130,89	203,7	250,08	323,76	459,09	788,78	1853,6
	20	0,2	53,86	67,01	71,36	88,64	105,69	130,88	203,69	250,06	323,76	459,07	788,66	1852,57
	15	0,15	53,86	67,01	71,36	88,63	105,69	130,87	203,68	250,03	323,76	459,04	788,46	1853,15
Ribinio įlinkio sąlyga	L_i, m	$\Delta f_{lim}, m$	σ, MPa											
			Skirtumas											
			0%	20%	25%	40%	50%	60%	75%	80%	85%	90%	95%	99%
I/400	25	0,0625	-3,86%	-4,42%	-4,63%	-5,29%	-6,06%	-6,97%	-9,98%	-12,04%	-15,34%	-22,04%	-42,10%	-202,25%
	20	0,05	-3,86%	-4,42%	-4,63%	-5,29%	-6,06%	-6,97%	-9,98%	-12,04%	-15,34%	-22,08%	-42,16%	-202,90%
	15	0,0375	-3,86%	-4,42%	-4,63%	-5,29%	-6,06%	-6,97%	-10,06%	-12,04%	-15,40%	-22,08%	-42,22%	-203,24%
I/200	25	0,125	-3,93%	-4,48%	-4,63%	-5,29%	-5,98%	-6,97%	-9,98%	-11,98%	-15,31%	-21,99%	-42,02%	-202,23%
	20	0,1	-3,93%	-4,48%	-4,63%	-5,29%	-5,94%	-6,97%	-9,98%	-11,98%	-15,33%	-22,00%	-42,04%	-202,36%
	15	0,075	-3,93%	-4,48%	-4,63%	-5,29%	-5,98%	-6,97%	-9,98%	-12,00%	-15,34%	-22,03%	-42,07%	-202,52%
I/100	25	0,25	-3,97%	-4,46%	-4,63%	-5,29%	-5,96%	-6,96%	-9,97%	-11,96%	-15,31%	-21,98%	-41,99%	-202,11%
	20	0,2	-3,97%	-4,46%	-4,63%	-5,29%	-5,97%	-6,97%	-9,97%	-11,97%	-15,31%	-21,99%	-42,01%	-202,28%
	15	0,15	-3,97%	-4,46%	-4,63%	-5,31%	-5,97%	-6,98%	-9,98%	-11,99%	-15,31%	-21,99%	-42,05%	-202,19%



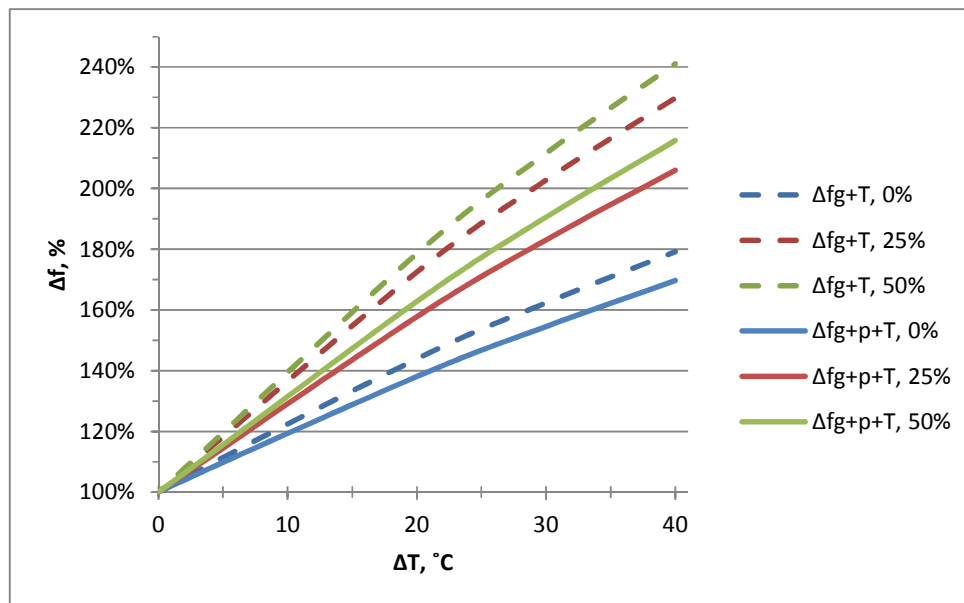
A.1 Pav. Procentinė neįtemptos stygos, apkrautos tik nuolatine apkrova, įtempių priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje)



A.2 Pav. Procentinė neįtemptos stygos, apkrautos nuolatine ir laikinąja apkrovomis, įtempių priklausomybė nuo temperatūros pokyčio (neigiamo pokyčio kairėje, teigiamo – dešinėje)



A.3 Pav. Įtemptos stygos įtempių nuo neigiamo temperatūros pokyčio skirtingai įtemptose 15 m ilgio konstrukcijose palyginimas įvertinant ir neįvertinant laikinąją apkrovą



A.4 Pav. Įtemptos stygos poslinkių nuo teigiamo temperatūros pokyčio skirtingai įtemptose 15 m ilgio konstrukcijose palyginimas įvertinant ir neįvertinant laikinąją apkrovą

B priedas

B.1 lentelė. Penkiaatramių 25 m, 30 m, 35 m, 40 m ir 45 m tarpatramio ilgio stygų skaičiavimo rezultatai

Ribinio įlinkio sąlyga	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	T, kN					H _i , kN					σ, MPa				
				Išankstinis įtempimas														
				0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %
1/200	25	125	1	0	1099,47	2198,94	3298,41	4177,99	2572,0	2766,6	3090,0	3622,6	4225,7	9,50	13,63	22,83	53,53	312,09
			3						2572,0	2766,6	3090,0	3622,6	4225,7	9,50	13,63	22,83	53,53	312,09
			1+2						3240,4	3360,0	3549,4	3867,2	4271,3	11,98	16,55	26,22	57,14	315,46
			1+2+3						3709,3	3779,4	3887,5	4069,0	4315,1	13,70	18,61	28,72	60,12	318,69
			visas						4397,9	4397,9	4397,9	4397,9	4398,0	16,25	21,66	32,49	64,98	324,81
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	Δf ir Δu, m																
		A, m ²	0 %															
			Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x25	1	0,27071	0,2391	0,0047	0,0038	0,0031	0,0026	0	-0,0045	-0,0034	-0,0023	-0,0011	0					
	3		0,0026	0,0031	0,2391	0,0031	0,0026	0	0,0011	0,0023	-0,0023	-0,0011	0					
	1+2		0,1898	0,1898	0,0043	0,0030	0,0021	0	-0,0021	-0,0043	-0,0029	-0,0014	0					
	1+2+3		0,1658	0,1658	0,1658	0,0033	0,0020	0	-0,0011	-0,0022	-0,0033	-0,0016	0					
	visas		0,1398	0,1398	0,1398	0,1398	0,1398	0	0	0	0	0	0	0				
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	25 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x25	1	0,20304	0,2223	0,0042	0,0034	0,0028	0,0024	0	-0,0039	-0,0029	-0,0020	-0,0010	0					
	3		0,0024	0,0028	0,2223	0,0028	0,0024	0	0,0010	0,0020	-0,0020	-0,0010	0					
	1+2		0,1830	0,1831	0,0040	0,0028	0,0021	0	-0,0020	-0,0040	-0,0027	-0,0013	0					
	1+2+3		0,1627	0,1627	0,1627	0,0031	0,0019	0	-0,0011	-0,0021	-0,0031	-0,0016	0					
	visas		0,1398	0,1398	0,1398	0,1398	0,1398	0	0	0	0	0	0	0				
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	50 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x25	1	0,13536	0,1990	0,0035	0,0029	0,0024	0,0021	0	-0,0031	-0,0024	-0,0016	-0,0008	0					
	3		0,0021	0,0024	0,1990	0,0024	0,0021	0	0,0008	0,0016	-0,0016	-0,0008	0					
	1+2		0,1733	0,1733	0,0036	0,0026	0,0019	0	-0,0018	-0,0036	-0,0024	-0,0012	0					
	1+2+3		0,1582	0,1582	0,1582	0,0030	0,0019	0	-0,0010	-0,0020	-0,0030	-0,0015	0					
	visas		0,1398	0,1398	0,1398	0,1398	0,1398	0	0	0	0	0	0	0				

B.1 lentelės tęsinys

n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	Δf ir Δu, m																
		75 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
1	2		3	4	5	I	II	III	IV	V	VI							
5x25	1	0,06768	0,1698	0,0027	0,0023	0,0020	0,0018	0	-0,0023	-0,0017	-0,0011	-0,0006	0					
	3		0,0018	0,0020	0,1698	0,0020	0,0018	0	0,0006	0,0011	-0,0011	-0,0006	0					
	1+2		0,1590	0,1590	0,0031	0,0023	0,0018	0	-0,0015	-0,0030	-0,0020	-0,0010	0					
	1+2+3		0,1511	0,1511	0,1512	0,0027	0,0018	0	-0,00090	-0,00181	-0,00271	-0,00135	0					
	visas		0,1398	0,1398	0,1398	0,1398	0,1398	0	0	0	0	0	0					
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	95 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x25	1	0,01354	0,1455	0,0021	0,0019	0,0017	0,0016	0	-0,0017	-0,0013	-0,0008	-0,0004	0					
	3		0,0016	0,0017	0,1455	0,0017	0,0016	0	0,0004	0,0008	-0,0008	-0,0004	0					
	1+2		0,1440	0,1440	0,0026	0,0020	0,0016	0	-0,0012	-0,0025	-0,0016	-0,0008	0					
	1+2+3		0,1425	0,1425	0,1425	0,0024	0,0016	0	-0,0008	-0,0016	-0,0024	-0,0012	0					
	visas		0,1398	0,1398	0,1398	0,1398	0,1398	0	0	0	0	0	0					
Ribinio įlinkio sąlyga	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarptraimis	T, kN					H _i , kN			σ, MPa						
				Išankstinis įtempimas														
				0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %
1/200	30	150	1	0	1241,57	2483,14	3724,71	4717,97	2904,3	3124,2	3489,4	4090,8	4771,8	10,73	15,39	25,78	60,44	352,42
			3						2904,3	3124,2	3489,4	4090,8	4771,8	10,73	15,39	25,78	60,44	352,42
			1+2						3659,1	3794,2	4008,1	4367,0	4823,3	13,52	18,69	29,61	64,52	256,23
			1+2+3						4188,7	4267,8	4389,9	4594,9	4872,8	15,47	21,02	32,43	67,89	359,88
			visas						4966,3	4966,3	4966,3	4966,3	4966,4	18,35	24,46	36,69	73,38	366,79
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	Δf ir Δu, m																
		25 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
1	2		3	4	5	I	II	III	IV	V	VI							
5x30	1	0,20304	0,2730	0,0055	0,0044	0,0035	0,0030	0	-0,0053	-0,0040	-0,0027	-0,0013	0					
	3		0,0030	0,0035	0,2730	0,0035	0,0030	0	0,0013	0,0027	-0,0027	-0,0013	0					
	1+2		0,2248	0,2248	0,0054	0,0040	0,0026	0	-0,0027	-0,0054	-0,0036	-0,0018	0					
	1+2+3		0,1998	0,1998	0,1998	0,0043	0,0024	0	-0,0014	-0,0028	-0,0043	-0,0021	0					
	visas		0,1717	0,1717	0,1717	0,1717	0,1717	0	0	0	0	0	0					
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	50 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x30	1	0,13536	0,2444	0,0046	0,0037	0,0030	0,0026	0	-0,0042	-0,0032	-0,0021	-0,0011	0					
	3		0,0026	0,0030	0,2444	0,0030	0,0026	0	0,0011	0,0021	-0,0021	-0,0011	0					
	1+2		0,2128	0,2128	0,0048	0,0034	0,0024	0	-0,0024	-0,0048	-0,0032	-0,0016	0					
	1+2+3		0,1943	0,1943	0,1943	0,0040	0,0023	0	-0,0013	-0,0027	-0,0040	-0,0020	0					
	visas		0,1717	0,1717	0,1717	0,1717	0,1717	0	0	0	0	0	0					

B.1 lentelės tęsinys

n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	Δf ir Δu, m																
		75 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
1	2		3	4	5	I	II	III	IV	V	VI							
5x30	1	0,06768	0,2085	0,0035	0,0029	0,0025	0,0022	0	-0,0031	-0,0023	-0,0015	-0,0008	0					
	3		0,0022	0,0025	0,2085	0,0025	0,0022	0	0,0008	0,0015	-0,0015	-0,0008	0					
	1+2		0,1953	0,1953	0,0041	0,0029	0,0022	0	-0,0020	-0,0041	-0,0027	-0,0014	0					
	1+2+3		0,1856	0,1856	0,1856	0,0037	0,0022	0	-0,0012	-0,0025	-0,0037	-0,0018	0					
	visas		0,1717	0,1717	0,1717	0,1717	0,1717	0	0	0	0	0	0					
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	95 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x30	1	0,01354	0,1787	0,0027	0,0024	0,0021	0,0019	0	-0,0023	-0,0017	-0,0011	-0,0006	0					
	3		0,0019	0,0021	0,1787	0,0021	0,0019	0	0,0006	0,0011	-0,0011	-0,0006	0					
	1+2		0,1768	0,1768	0,0034	0,0025	0,0020	0	-0,0017	-0,0033	-0,0022	-0,0011	0					
	1+2+3		0,1750	0,1750	0,1750	0,0033	0,0020	0	-0,0011	-0,0022	-0,0033	-0,0016	0					
	visas		0,1717	0,1717	0,1717	0,1717	0,1717	0	0	0	0	0	0					
Ribinio įlinkio sąlyga	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarptraimis	T, kN					H _i , kN					σ, MPa				
				Įsankstinis įtempimas														
				0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %
1/200	35	175	1	0	1375,95	2751,90	4127,85	5228,61	3218,6	3462,3	3867,0	4533,5	5288,3	11,89	17,05	28,57	66,98	390,6
			3						3218,6	3462,3	3867,0	4533,5	5288,3	11,89	17,05	28,57	66,98	390,6
			1+2						4055,2	4204,8	4441,9	4839,7	5345,4	14,98	20,71	32,82	71,51	394,8
			1+2+3						4642,0	4729,7	4865,0	5092,2	5400,2	17,15	23,29	35,94	75,24	398,8
			visas						5503,8	5503,9	5503,9	5503,8	5503,9	20,33	27,11	40,66	81,32	406,5
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	Δf ir Δu, m																
		0 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
1	2		3	4	5	I	II	III	IV	V	VI							
5x35	1	0,27071	0,3606	0,0080	0,0063	0,0049	0,0040	0	-0,0079	-0,0059	-0,0040	-0,0020	0					
	3		0,0040	0,0049	0,3606	0,0049	0,0040	0	0,0020	0,0040	-0,0040	-0,0020	0					
	1+2		0,2862	0,2863	0,0076	0,0050	0,0033	0	-0,0037	-0,0075	-0,0050	-0,0025	0					
	1+2+3		0,2500	0,2501	0,2501	0,0057	0,0031	0	-0,0019	-0,0038	-0,0057	-0,0029	0					
	visas		0,2109	0,2109	0,2109	0,2109	0,2109	0	0	0	0	0	0					
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	25 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x35	1	0,20304	0,3353	0,0070	0,0056	0,0044	0,0036	0	-0,0069	-0,0051	-0,0034	-0,0017	0					
	3		0,0036	0,0044	0,3352	0,0044	0,0036	0	0,0017	0,0034	-0,0034	-0,0017	0					
	1+2		0,2760	0,2761	0,0070	0,0047	0,0032	0	-0,0035	-0,0070	-0,0046	-0,0023	0					
	1+2+3		0,2454	0,2454	0,2455	0,0055	0,0030	0	-0,0018	-0,0037	-0,0055	-0,0028	0					
	visas		0,2109	0,2109	0,2109	0,2109	0,2109	0	0	0	0	0	0					

B.1 lentelės tęsinys

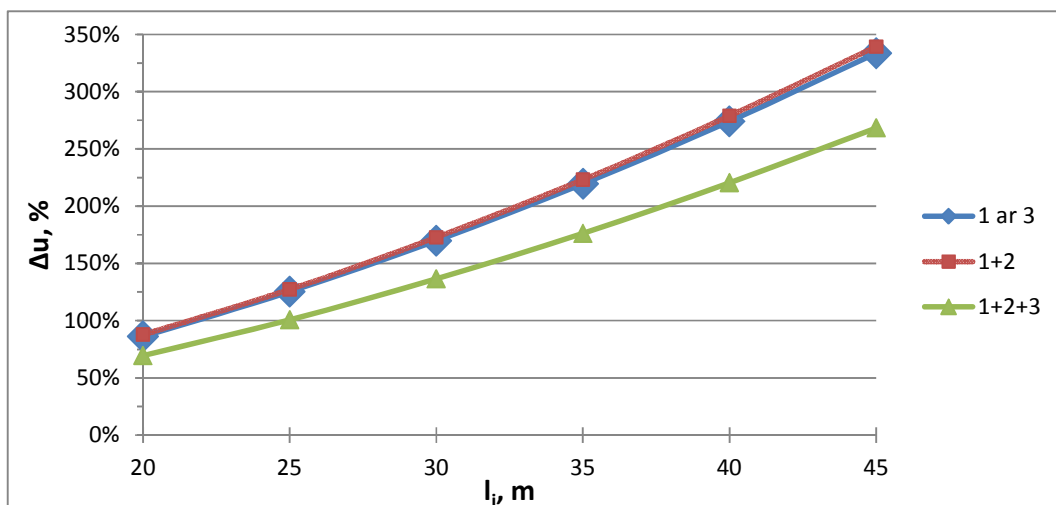
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	Δf ir Δu, m																
		50 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x35	1	0,13536	0,3002	0,0058	0,0047	0,0038	0,0032	0	-0,0055	-0,0041	-0,0027	-0,0014	0					
	3		0,0032	0,0038	0,3002	0,0038	0,0032	0	0,0014	0,0027	-0,0027	-0,0014	0					
	1+2		0,2613	0,2614	0,0062	0,0043	0,0030	0	-0,0031	-0,0062	-0,0042	-0,0021	0					
	1+2+3		0,2386	0,2386	0,2386	0,0052	0,0029	0	-0,0017	-0,0035	-0,0052	-0,0026	0					
	visas		0,2109	0,2109	0,2109	0,2109	0,2109	0	0	0	0	0	0					
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	75 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x35	1	0,06768	0,2560	0,0044	0,0037	0,0031	0,0028	0	-0,0040	-0,0030	-0,0020	-0,0010	0					
	3		0,0028	0,0031	0,2560	0,0031	0,0028	0	0,0010	0,0020	-0,0020	-0,0010	0					
	1+2		0,2398	0,2399	0,0053	0,0037	0,0027	0	-0,0026	-0,0053	-0,0035	-0,0018	0					
	1+2+3		0,2279	0,2279	0,2280	0,0048	0,0027	0	-0,0016	-0,0032	-0,0048	-0,0024	0					
	visas		0,2109	0,2109	0,2109	0,2109	0,2109	0	0	0	0	0	0					
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	95 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x35	1	0,01354	0,2195	0,0035	0,0030	0,0026	0,0024	0	-0,0029	-0,0022	-0,0015	-0,0007	0					
	3		0,0024	0,0026	0,2195	0,0026	0,0024	0	0,0007	0,0015	-0,0015	-0,0007	0					
	1+2		0,2171	0,2172	0,0043	0,0032	0,0024	0	-0,0022	-0,0043	-0,0029	-0,0014	0					
	1+2+3		0,2149	0,2150	0,2150	0,0042	0,0025	0	-0,0014	-0,0028	-0,0042	-0,0021	0					
	visas		0,2109	0,2109	0,2109	0,2109	0,2109	0	0	0	0	0	0					
Ribinio įlinkio sąlyga	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	T, kN					H _i , kN					σ, MPa				
				Išankstinis įtempimas														
				0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %
1/200	40	200	1	0	1504,06	3008,11	4512,17	5715,41	3518,3	3784,6	4227,0	4955,6	5780,6	13,00	18,64	31,23	73,22	426,9
			3						3518,3	3784,6	4227,0	4955,6	5780,6	13,00	18,64	31,23	73,22	426,9
			1+2						4432,7	4596,3	4855,5	5290,3	5843,0	16,37	22,64	35,87	78,17	431,5
			1+2+3						5074,2	5170,1	5318,0	5566,3	5903,0	18,74	25,46	39,29	82,25	436,0
			visas						6016,2	6016,3	6016,3	6016,3	6016,3	22,22	29,63	44,45	88,89	444,3
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	Δf ir Δu, m																
		0 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x40	1	0,27071	0,4309	0,0099	0,0078	0,0059	0,0047	0	-0,0099	-0,0074	-0,0050	-0,0025	0					
	3		0,0047	0,0059	0,4309	0,0059	0,0047	0	0,0025	0,0050	-0,0050	-0,0025	0					
	1+2		0,3420	0,3421	0,0094	0,0062	0,0040	0	-0,0047	-0,0094	-0,0062	-0,0031	0					
	1+2+3		0,2988	0,2988	0,2988	0,0071	0,0037	0	-0,0024	-0,0048	-0,0071	-0,0036	0					
	visas		0,2520	0,2520	0,2520	0,2520	0,2520	0	0	0	0	0	0					

B.1 lentelės tęsinys

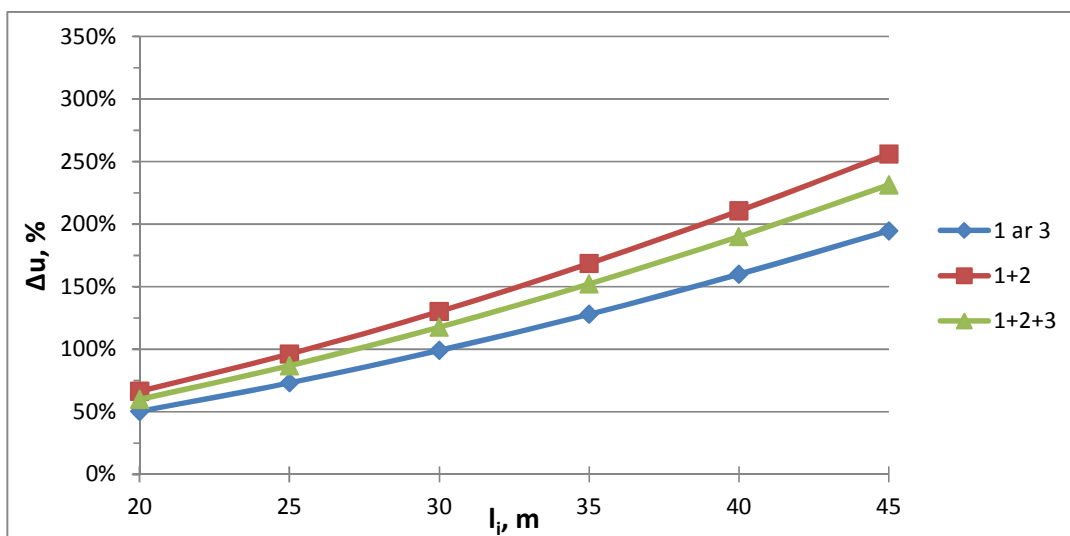
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	Δf ir Δu, m																
		25 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
1	2		3	4	5	I	II	III	IV	V	VI							
5x40	1	0,20304	0,4006	0,0087	0,0069	0,0053	0,0044	0	-0,0086	-0,0064	-0,0043	-0,0021	0					
	3		0,0044	0,0053	0,4006	0,0053	0,0044	0	0,0021	0,0043	-0,0043	-0,0021	0					
	1+2		0,3298	0,3299	0,0087	0,0058	0,0038	0	-0,0044	-0,0087	-0,0058	-0,0029	0					
	1+2+3		0,2932	0,2933	0,2933	0,0069	0,0036	0	-0,0023	-0,0046	-0,0069	-0,0034	0					
	visas		0,2520	0,2520	0,2520	0,2520	0,2520	0	0	0	0	0	0					
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	50 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x40	1	0,13536	0,3587	0,0072	0,0058	0,0046	0,0039	0	-0,0069	-0,0051	-0,0034	-0,0017	0					
	3		0,0039	0,0046	0,3587	0,0046	0,0039	0	0,0017	0,0034	-0,0034	-0,0017	0					
	1+2		0,3122	0,3123	0,0078	0,0052	0,0036	0	-0,0039	-0,0078	-0,0052	-0,0026	0					
	1+2+3		0,2851	0,2851	0,2851	0,0065	0,0035	0	-0,0022	-0,0043	-0,0065	-0,0033	0					
	visas		0,2520	0,2520	0,2520	0,2520	0,2520	0	0	0	0	0	0					
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	75 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x40	1	0,06768	0,3059	0,0055	0,0045	0,0037	0,0033	0	-0,0050	-0,0037	-0,0025	-0,0013	0					
	3		0,0033	0,0037	0,3059	0,0037	0,0033	0	0,0013	0,0025	-0,0025	-0,0013	0					
	1+2		0,2866	0,2866	0,0066	0,0046	0,0032	0	-0,0033	-0,0066	-0,0044	-0,0022	0					
	1+2+3		0,2724	0,2724	0,2724	0,0059	0,0033	0	-0,0020	-0,0040	-0,0059	-0,0030	0					
	visas		0,2520	0,2520	0,2520	0,2520	0,2520	0	0	0	0	0	0					
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	95 %																
		A, m ²	Δf					Δu										
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI					
5x40	1	0,01354	0,2623	0,0043	0,0036	0,0031	0,0028	0	-0,0037	-0,0027	-0,0018	-0,0009	0					
	3		0,0028	0,0031	0,2623	0,0031	0,0028	0	0,0009	0,0018	-0,0018	-0,0009	0					
	1+2		0,2595	0,2595	0,0054	0,0039	0,0029	0	-0,0027	-0,0054	-0,0036	-0,0018	0					
	1+2+3		0,2568	0,2568	0,2569	0,0053	0,0031	0	-0,0018	-0,0035	-0,0053	-0,0026	0					
	visas		0,2520	0,2520	0,2520	0,2520	0,2520	0	0	0	0	0	0					
Ribinio įlinkio sąlyga	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarptraimis	T, kN					H _i , kN					σ, MPa				
				Išankstinis įtempimas														
				0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %	0 %	25 %	50 %	75 %	95 %
l/200	45	225	1	0	1626,92	3253,84	4880,75	6182,29	3805,6	4093,7	4572,3	5360,4	6252,8	14,06	20,16	33,78	79,2	461,8
			3						3805,6	4093,7	4572,3	5360,4	6252,8	14,06	20,16	33,78	79,2	461,8
			1+2						4794,7	4971,7	5252,1	5722,4	6320,3	17,71	24,49	38,08	84,55	466,8
			1+2+3						5488,7	5592,4	5752,4	6021,0	6385,2	20,28	27,54	42,5	88,96	471,6
			visas						6507,7	6507,7	6507,7	6507,7	6507,8	24,04	32,05	48,08	96,15	480,6

B.1 lentelės pabaiga

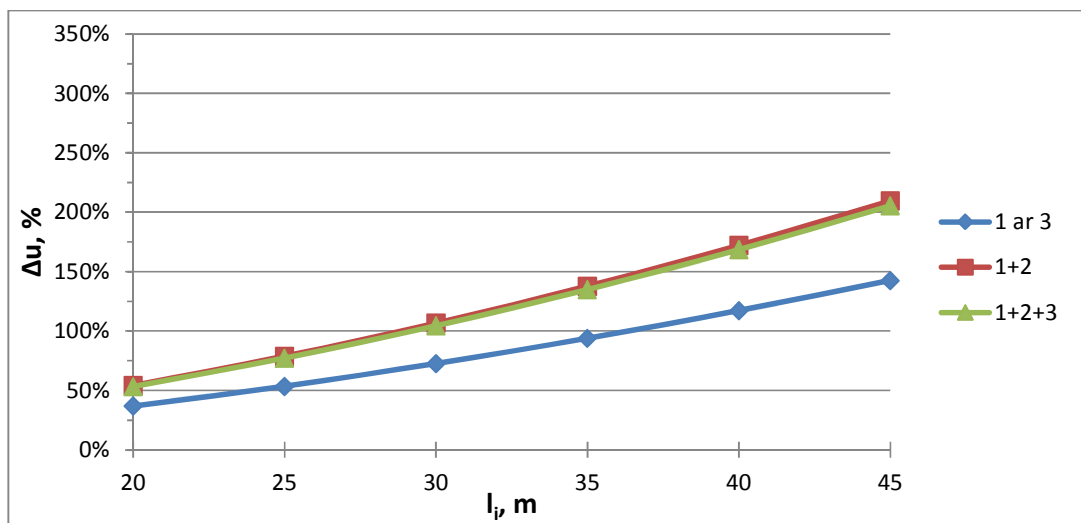
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	Δf ir Δu, m											
		0 %											
		A, m ²	Δf					Δu					
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
5x45	1	0,27071	0,5042	0,0120	0,0094	0,0070	0,0055	0	-0,0120	-0,0090	-0,0060	-0,0030	0
	3		0,0055	0,0070	0,5042	0,0070	0,0055	0	0,0030	0,0060	-0,0060	-0,0030	0
	1+2		0,4002	0,4003	0,0114	0,0076	0,0047	0	-0,0057	-0,0114	-0,0076	-0,0038	0
	1+2+3		0,3496	0,3496	0,3497	0,0087	0,0044	0	-0,0029	-0,0058	-0,0087	-0,0043	0
	visas		0,2948	0,2948	0,2948	0,2948	0,2948	0	0	0	0	0	0
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	25 %											
		A, m ²	Δf					Δu					
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
5x45	1	0,20304	0,4687	0,0105	0,0083	0,0063	0,0051	0	-0,0104	-0,0078	-0,0052	-0,0026	0
	3		0,0051	0,0063	0,4687	0,0063	0,0051	0	0,0026	0,0052	-0,0052	-0,0026	0
	1+2		0,3859	0,3860	0,0106	0,0071	0,0045	0	-0,0053	-0,0106	-0,0071	-0,0035	0
	1+2+3		0,3431	0,3431	0,3432	0,0084	0,0043	0	-0,0028	-0,0056	-0,0084	-0,0042	0
	visas		0,2948	0,2948	0,2948	0,2948	0,2948	0	0	0	0	0	0
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	50 %											
		A, m ²	Δf					Δu					
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
5x45	1	0,13536	0,4197	0,0086	0,0069	0,0055	0,0046	0	-0,0083	-0,0063	-0,0042	-0,0021	0
	3		0,0046	0,0055	0,4196	0,0055	0,0046	0	0,0021	0,0042	-0,0042	-0,0021	0
	1+2		0,3653	0,3654	0,0095	0,0063	0,0042	0	-0,0047	-0,0095	-0,0063	-0,0032	0
	1+2+3		0,3336	0,3336	0,3336	0,0079	0,0041	0	-0,0026	-0,0053	-0,0079	-0,0040	0
	visas		0,2948	0,2948	0,2948	0,2948	0,2948	0	0	0	0	0	0
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	75 %											
		A, m ²	Δf					Δu					
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
5x45	1	0,06768	0,3580	0,0066	0,0054	0,0044	0,0039	0	-0,0061	-0,0046	-0,0030	-0,0015	0
	3		0,0039	0,0044	0,3579	0,0044	0,0039	0	0,0015	0,0030	-0,0030	-0,0015	0
	1+2		0,3353	0,3354	0,0080	0,0055	0,0038	0	-0,0040	-0,0080	-0,0053	-0,0027	0
	1+2+3		0,3187	0,3187	0,3187	0,0072	0,0039	0	-0,0024	-0,0048	-0,0072	-0,0036	0
	visas		0,2948	0,2948	0,2948	0,2948	0,2948	0	0	0	0	0	0
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	95 %											
		A, m ²	Δf					Δu					
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
			1	2	3	4	5	I	II	III	IV	V	VI
5x45	1	0,01354	0,3069	0,0051	0,0043	0,0037	0,0033	0	-0,0045	-0,0033	-0,0022	-0,0011	0
	3		0,0033	0,0037	0,3069	0,0037	0,0033	0	0,0011	0,0022	-0,0022	-0,0011	0
	1+2		0,3036	0,3036	0,0065	0,0047	0,0034	0	-0,0033	-0,0065	-0,0044	-0,0022	0
	1+2+3		0,3005	0,3005	0,3005	0,0064	0,0036	0	-0,0021	-0,0043	-0,0064	-0,0032	0
	visas		0,2948	0,2948	0,2948	0,2948	0,2948	0	0	0	0	0	0



B.1 pav. Penkiaatramės įtemptos stygos ($T = 25\%$) tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui



B.2 pav. Penkiaatramės įtemptos stygos ($T = 75\%$) tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui



B.3 pav. Penkiaatramės įtemptos stygos ($T = 95 \%$) tarpinės atramos maksimalaus horizontalaus poslinkio priklausomybė nuo tarpatramio ilgio esant skirtingam apkrautų tarpatramių skaičiui

B.2 lentelė. Daugiaatramės 20 m tarpatramio ilgio stygos skaičiavimo rezultatai, kintant tarpatramių skaičiui ($n = 10, 15, 20$)

Ribinio įlinkio sąlyga	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	T, kN			H _i , kN			σ, MPa		
				Išankstinis įtempimas								
				0 %	25 %	50 %	0 %	25 %	50 %	0 %	25 %	50 %
1/200	20	300	1	0	947,5	1895,0	1537,57	1794,29	2253,04	5,68	8,84	16,65
			7				1537,57	1794,29	2253,04	5,68	8,84	16,65
			8				1537,57	1794,29	2253,04	5,68	8,84	16,65
			1+2				1936,67	2138,63	2483,74	7,15	10,53	18,35
			7+8				1936,67	2138,63	2483,74	7,15	10,53	18,35
			1+2+3				2216,73	2384,41	2663,01	8,19	11,74	19,67
			5+6+7				2216,73	2384,41	2663,01	8,19	11,74	19,67
			1+2+3+4+5				2628,08	2748,95	2945,89	9,71	13,54	21,74
			1+2+3+4+5+6+7+8				3073,64	3146,79	3260,58	11,35	15,50	24,09
			visas				3790,00	3790,00	3790,00	14	18,67	28

B.2 lentelės tęsinys

n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	Δf ir Δu, m																				
		0 %																				
		A, m ²	Δf										Δu									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
10x20	1	0,2707	0,2154	0,0058	0,0052	0,0046	0,0041	0,0036	0,0032	0,0028	0,0025	0,0023	0	-0,0056	-0,0050	-0,0043	-0,0037	-0,0031	-0,0025	-0,0019	-0,0012	-0,0006
	2		0,0023	0,2154	0,0052	0,0046	0,0041	0,0036	0,0032	0,0028	0,0025	0,0023	0	0,0006	-0,0050	-0,0043	-0,0037	-0,0031	-0,0025	-0,0019	-0,0012	-0,0006
	1+2		0,1710	0,1710	0,0062	0,0055	0,0047	0,0040	0,0033	0,0027	0,0022	0,0019	0	-0,0031	-0,0062	-0,0055	-0,0047	-0,0039	-0,0031	-0,0023	-0,0016	-0,0008
	4+5		0,0019	0,0022	0,0027	0,1710	0,1710	0,0040	0,0033	0,0027	0,0022	0,0019	0	0,0008	0,0016	0,0023	-0,0008	-0,0039	-0,0031	-0,0023	-0,0016	-0,0008
	5+6		0,0019	0,0022	0,0027	0,0033	0,1710	0,1710	0,0033	0,0027	0,0022	0,0019	0	0,0008	0,0016	0,0023	0,0031	0,0000	-0,0031	-0,0023	-0,0016	-0,0008
	2+3+4		0,0016	0,1494	0,1494	0,1494	0,0054	0,0045	0,0036	0,0028	0,0021	0,0016	0	0,0009	-0,0012	-0,0033	-0,0054	-0,0045	-0,0036	-0,0027	-0,0018	-0,0009
	1+2+3		0,1494	0,1494	0,1494	0,0063	0,0054	0,0045	0,0036	0,0028	0,0021	0,0016	0	-0,0021	-0,0042	-0,0063	-0,0054	-0,0045	-0,0036	-0,0027	-0,0018	-0,0009
	1+2+3+4+5		0,1260	0,1260	0,1260	0,1260	0,1261	0,0053	0,0042	0,0032	0,0021	0,0014	0	-0,0011	-0,0021	-0,0032	-0,0042	-0,0053	-0,0042	-0,0032	-0,0021	-0,0011
	visas		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n x l _i	Apkraunamas tarptraimis	Δf ir Δu, m																				
		25 %																				
		A, m ²	Δf										Δu									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
10x20	1	0,20304	0,1910	0,0046	0,0042	0,0038	0,0034	0,0030	0,0026	0,0024	0,0021	0,0020	0	-0,0044	-0,0039	-0,0034	-0,0029	-0,0024	-0,0019	-0,0015	-0,0010	-0,0005
	2		0,0020	0,1910	0,0042	0,0038	0,0034	0,0030	0,0026	0,0024	0,0021	0,0020	0	0,0005	-0,0039	-0,0034	-0,0029	-0,0024	-0,0019	-0,0015	-0,0010	-0,0005
	1+2		0,1590	0,1590	0,0054	0,0047	0,0041	0,0035	0,0029	0,0024	0,0020	0,0017	0	-0,0027	-0,0054	-0,0047	-0,0040	-0,0034	-0,0027	-0,0020	-0,0014	-0,0007
	4+5		0,0017	0,0020	0,0024	0,1590	0,1590	0,0035	0,0029	0,0024	0,0020	0,0017	0	0,0007	0,0014	0,0020	-0,0007	-0,0034	-0,0027	-0,0020	-0,0014	-0,0007
	5+6		0,0017	0,0020	0,0024	0,0029	0,1590	0,1590	0,0029	0,0024	0,0020	0,0017	0	0,0007	0,0014	0,0020	0,0027	0,0000	-0,0027	-0,0020	-0,0014	-0,0007
	2+3+4		0,0016	0,1420	0,1421	0,1421	0,0048	0,0040	0,0033	0,0025	0,0019	0,0016	0	0,0008	-0,0011	-0,0030	-0,0048	-0,0040	-0,0032	-0,0024	-0,0016	-0,0008
	1+2+3		0,1420	0,1420	0,1421	0,0057	0,0048	0,0040	0,0033	0,0025	0,0019	0,0016	0	-0,0019	-0,0038	-0,0057	-0,0048	-0,0040	-0,0032	-0,0024	-0,0016	-0,0008
	1+2+3+4+5		0,1227	0,1227	0,1228	0,1228	0,1228	0,0050	0,0040	0,0030	0,0020	0,0014	0	-0,0010	-0,0020	-0,0030	-0,0040	-0,0050	-0,0040	-0,0030	-0,0020	-0,0010
	visas		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

B.2 lentelės tęsinys

n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	Δf ir Δu, m																					
		50 %																					
		A, m ²	Δf										Δu										
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
10x20	1	0,13536	0,1594	0,0033	0,0031	0,0028	0,0025	0,0023	0,0021	0,0019	0,0018	0,0017	0	-0,0031	-0,0027	-0,0024	-0,0020	-0,0017	-0,0014	-0,0010	-0,0007	-0,0003	0
	2		0,0017	0,1594	0,0031	0,0028	0,0025	0,0023	0,0021	0,0019	0,0018	0,0017	0	0,0003	-0,0027	-0,0024	-0,0020	-0,0017	-0,0014	-0,0010	-0,0007	-0,0003	0
	1+2		0,1423	0,1424	0,0044	0,0038	0,0034	0,0029	0,0024	0,0020	0,0017	0,0015	0	-0,0022	-0,0043	-0,0038	-0,0032	-0,0027	-0,0022	-0,0016	0,0043	0,0022	0
	4+5		0,0015	0,0017	0,0020	0,1423	0,1423	0,0029	0,0024	0,0020	0,0017	0,0015	0	0,0054	0,0011	0,0016	-0,0005	-0,0027	-0,0022	-0,0016	0,0043	-0,0005	0
	5+6		0,0015	0,0017	0,0020	0,0024	0,1423	0,1423	0,0024	0,0020	0,0017	0,0015	0	0,0054	0,0011	0,0016	0,0022	0,0000	-0,0022	-0,0016	0,0043	-0,0005	0
	2+3+4		0,0014	0,1316	0,1316	0,1317	0,0042	0,0035	0,0028	0,0022	0,0017	0,0014	0	0,0007	-0,0009	-0,0025	-0,0042	-0,0035	-0,0028	-0,0021	-0,0014	-0,0007	0
	1+2+3		0,1316	0,1316	0,1317	0,0049	0,0042	0,0035	0,0028	0,0022	0,0017	0,0014	0	-0,0016	-0,0032	-0,0049	-0,0042	-0,0035	-0,0028	-0,0021	-0,0014	-0,0007	0
	1+2+3+4+5		0,1180	0,1180	0,1180	0,1180	0,1180	0,0046	0,0037	0,0028	0,0019	0,0013	0	-0,0009	-0,0019	-0,0028	-0,0037	-0,0046	-0,0037	-0,0028	-0,0019	-0,0009	0
	visas		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ribinio įlinkio sąlyga	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	T, kN			H ₁ , kN			σ, MPa		
				Išankstinis įtempimas								
				0 %	25 %	50 %	0 %	25 %	50 %	0 %	25 %	50 %
1/200	20	300	1	0	947,5	1895,0	1537,57	1794,29	2253,04	5,68	8,84	16,65
			7				1537,57	1794,29	2253,04	5,68	8,84	16,65
			1+2				1936,67	2138,63	2483,74	7,15	10,53	18,35
			7+8				1936,67	2138,63	2483,74	7,15	10,53	18,35
			1+2+3				2216,73	2384,41	2663,01	8,19	11,74	19,67
			5+6+7				2216,73	2384,41	2663,01	8,19	11,74	19,67
			1+2+3+4+5				2628,08	2748,95	2945,89	9,71	13,54	21,74
			1+2+3+4+5+6+7+8				3073,64	3146,79	3260,58	11,35	15,50	24,09
			visas				3790,00	3790,00	3790,00	14	18,67	28

B.2 lentelės tęsinys

n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	Δf ir Δu, m																															
		0 %																															
		A, m ²	Δf															Δu															
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI		
15x20	1	0,2707	0,247	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0	-0,008	-0,007	-0,006	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0	
	7		0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,246	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0
	1+2		0,196	0,196	0,009	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0	-0,004	-0,009	-0,008	-0,007	-0,007	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001	-0,001	0
	7+8		0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,196	0,196	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,000	-0,005	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001	-0,001	0
	1+2+3		0,171	0,171	0,171	0,009	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0	-0,003	-0,006	-0,009	-0,009	-0,008	-0,007	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001	0
	5+6+7		0,002	0,002	0,003	0,003	0,171	0,171	0,171	0,006	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0	0,001	0,002	0,002	0,003	0,000	-0,003	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001	0
	1+2+3+4+5		0,155	0,155	0,155	0,155	0,009	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0	-0,002	-0,004	-0,006	-0,007	-0,009	-0,008	-0,007	-0,006	-0,006	-0,005	-0,004	-0,003	-0,002	-0,001	0
	1+2+3+4+5+6+7+8		0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,124	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	0	-0,001	-0,002	-0,003	-0,004	-0,005	-0,006	-0,007	-0,008	-0,006	-0,005	-0,004	-0,003	-0,002	-0,001	0
	visas		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	Δf ir Δu, m																															
		25 %																															
		A, m ²	Δf															Δu															
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI		
15x20	1	0,20304	0,211	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0,000	0	
	7		0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,211	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0,000	0
	1+2		0,177	0,177	0,007	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0	-0,004	-0,007	-0,007	-0,006	-0,006	-0,005	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0
	7+8		0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,177	0,177	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,000	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0
	1+2+3		0,159	0,159	0,159	0,008	0,007	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0	-0,003	-0,005	-0,008	-0,007	-0,007	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001	-0,001	0
	5+6+7		0,002	0,002	0,002	0,003	0,159	0,159	0,159	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0	0,001	0,001	0,002	0,003	0,000	-0,003	-0,005	-0,005	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001	-0,001	0
	1+2+3+4+5		0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,008	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0	-0,002	-0,003	-0,005	-0,007	-0,008	-0,008	-0,007	-0,006	-0,005	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001	0
	1+2+3+4+5+6+7+8		0,120	0,120	0,120	0,120	0,121	0,121	0,121	0,121	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	0	-0,001	-0,002	-0,003	-0,004	-0,005	-0,005	-0,006	-0,007	-0,006	-0,005	-0,004	-0,003	-0,002	-0,001	0
	visas		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

B.2 lentelės tęsinys

n x l _i	Apkraunamas tarpatramis	Δf ir Δu, m																														
		50 %																														
		A, m ²	Δf															Δu														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
15x20	1	0,168	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	0
	7	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,168	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	0
	1+2	0,153	0,153	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0	-0,003	-0,005	-0,005	-0,005	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0,000	0
	7+8	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,153	0,153	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0,000	0
	1+2+3	0,142	0,142	0,142	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0	-0,002	-0,004	-0,006	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0
	5+6+7	0,002	0,002	0,002	0,002	0,142	0,142	0,142	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0	0,001	0,001	0,002	0,002	0,000	-0,002	-0,004	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0
	1+2+3+4+5	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,007	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001	0	-0,001	-0,003	-0,004	-0,006	-0,007	-0,007	-0,006	-0,005	-0,004	-0,004	-0,003	-0,002	-0,001	-0,001	0
	1+2+3+4+5+6+7+8	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,116	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001	0	-0,001	-0,002	-0,003	-0,003	-0,004	-0,005	-0,006	-0,007	0,006	-0,005	-0,004	-0,003	-0,002	-0,001	0
	visas	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ribinio įlinkio sąlyga	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	T, kN			H _i , kN			σ, MPa		
				Išankstinis įtempimas								
				0 %	25 %	50 %	0 %	25 %	50 %	0 %	25 %	50 %
1/200	20	400	1	0	947,5	1895,0	1397,23	1675,90	2181,57	5,16	8,25	16,12
			10				1397,23	1675,90	2181,57	5,16	8,25	16,12
			1+2				1759,75	1984,89	2377,17	6,5	9,78	17,56
			9+10				1759,75	1984,89	2377,17	6,5	9,78	17,56
			1+2+3				2014,16	2206,38	2532,18	7,44	10,87	18,71
			8+9+10				2014,16	2206,38	2532,18	7,44	10,87	18,71
			1+2+3+4+5+6				2537,43	2668,33	2879,87	9,37	13,14	21,28
			1...10				3008,23	3088,26	3213,23	11,11	15,21	23,74
			visas				3790,00	3790,00	3790,00	14	18,67	28

B.2 lentelės tęsinys

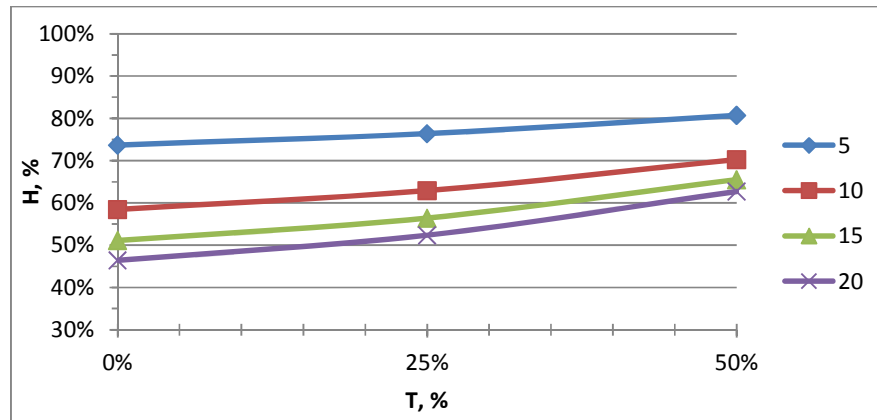
n x l _i	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	Δf, m																					
				0 %																					
				A, m ²	Δf																				
20x20	20	400	10	0,2707	0,0029	0,0030	0,0031	0,0033	0,0036	0,0039	0,0043	0,0047	0,0051	0,2713	0,0055	0,0051	0,0047	0,0043	0,0039	0,0036	0,0033	0,0033	0,0003		
			1+2		0,2154	0,2155	0,1113	0,0011	0,0099	0,0093	0,0087	0,0081	0,0075	0,0069	0,0063	0,0058	0,0052	0,0046	0,0041	0,0036	0,0031	0,0028	0,0025		
			9+10		0,0023	0,0025	0,0028	0,0031	0,0036	0,0041	0,0046	0,0052	0,2154	0,2154	0,0063	0,0058	0,0052	0,0046	0,0041	0,0036	0,0031	0,0028	0,0025		
			1+2+3		0,1882	0,1883	0,1884	0,0120	0,0113	0,0106	0,0099	0,0092	0,0085	0,0078	0,0071	0,0064	0,0057	0,0051	0,0044	0,0038	0,0032	0,0027	0,0023		
			8+9+10		0,0020	0,0023	0,0027	0,0032	0,0038	0,0044	0,0051	0,1782	0,1882	0,1882	0,0071	0,0064	0,0057	0,0051	0,0044	0,0038	0,0032	0,0027	0,0023		
			1+2+3+4+5+6		0,1494	0,1494	0,1495	0,1495	0,1495	0,1498	0,0125	0,0116	0,0107	0,0098	0,0089	0,0080	0,0071	0,0063	0,0054	0,0045	0,0036	0,0028	0,0021		
			1...10		0,1260	0,1260	0,1260	0,1260	0,1261	0,1261	0,1262	0,1262	0,1263	0,1264	0,0106	0,0095	0,0085	0,0074	0,0064	0,0053	0,0042	0,0032	0,0021		
			visas		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
n x l _i	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	Δu, m																					
				0 %																					
				A, m ²	Δu																				
20x20	20	400	10	0,2707	0	0,0005	0,0010	0,0015	0,0020	0,0025	0,0029	0,0034	0,0039	0,0044	-0,0049	-0,0044	-0,0039	-0,0034	-0,0029	-0,0025	-0,0020	-0,0015	-0,0010	-0,0005	0
			1+2		0	-0,0056	-0,0111	-0,0105	-0,0099	-0,0093	-0,0087	-0,0080	-0,0074	-0,0068	-0,0062	-0,0056	-0,0050	-0,0043	-0,0037	-0,0031	-0,0025	-0,0019	-0,0012	-0,0006	0
			9+10		0	0,0006	0,0012	0,0019	0,0025	0,0031	0,0037	0,0043	0,0050	-0,0006	-0,0062	-0,0056	-0,0050	-0,0043	-0,0037	-0,0031	-0,0025	-0,0019	-0,0012	-0,0006	0
			1+2+3		0	-0,0040	-0,0080	-0,0120	-0,0113	-0,0106	-0,0099	-0,0092	-0,0085	-0,0078	-0,0071	-0,0064	-0,0057	-0,0050	-0,0043	-0,0035	-0,0028	-0,0021	-0,0014	-0,0007	0
			8+9+10		0	0,0007	0,0014	0,0021	0,0028	0,0035	0,0043	0,0050	0,0009	-0,0031	-0,0071	-0,0064	-0,0057	-0,0050	-0,0043	-0,0035	-0,0028	-0,0021	-0,0014	-0,0007	0
			1+2+3+4+5+6		0	-0,0021	-0,0042	-0,0063	-0,0083	-0,0104	-0,0125	-0,0116	-0,0107	-0,0098	-0,0089	-0,0080	-0,0071	-0,0063	-0,0054	-0,0045	-0,0036	-0,0027	-0,0018	-0,0009	0
			1...10		0	-0,0011	-0,0021	-0,0032	-0,0042	-0,0053	-0,0064	-0,0074	-0,0085	-0,0095	-0,0106	-0,0095	-0,0085	-0,0074	-0,0064	-0,0053	-0,0042	-0,0032	-0,0021	-0,0011	0
			visas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

B.2 lentelės tęsinys

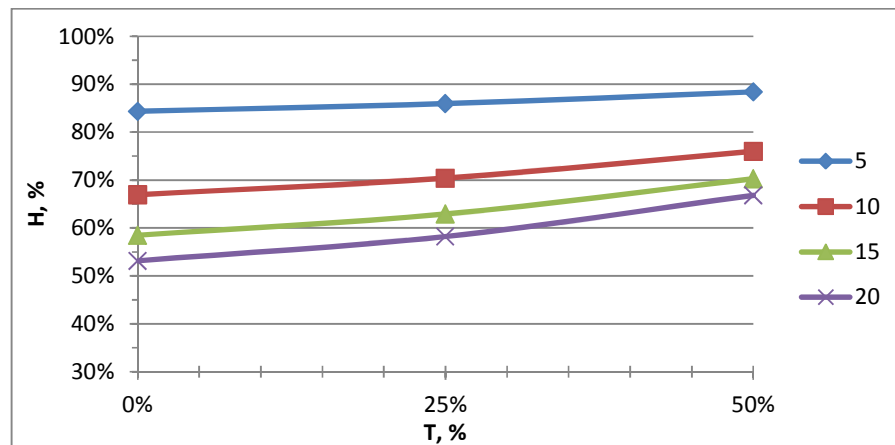
n x l _i	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	Δf, m																						
				25 %																						
				A, m ²	Δf																					
20x20	20	400	10	0,20304	0,0024	0,0024	0,0025	0,0027	0,0028	0,0030	0,0033	0,0035	0,0038	0,2262	0,0040	0,0038	0,0035	0,0033	0,0030	0,0028	0,0027	0,0025	0,0024	0,0024		
			1+2		0,1910	0,1911	0,0088	0,0083	0,0078	0,0074	0,0069	0,0064	0,0060	0,0055	0,0051	0,0046	0,0042	0,0038	0,0034	0,0030	0,0026	0,0024	0,0021	0,0020		
			9+10		0,0020	0,0021	0,0024	0,0026	0,0030	0,0034	0,0038	0,0042	0,1910	0,1910	0,0051	0,0046	0,0042	0,0038	0,0034	0,0030	0,0026	0,0024	0,0021	0,0020		
			1+2+3		0,1718	0,1719	0,1720	0,0100	0,0094	0,0089	0,0083	0,0077	0,0071	0,0065	0,0059	0,0054	0,0048	0,0043	0,0037	0,0032	0,0028	0,0023	0,0020	0,0018		
			8+9+10		0,0018	0,0020	0,0023	0,0028	0,0032	0,0037	0,0043	0,1718	0,1718	0,1718	0,0059	0,0054	0,0048	0,0043	0,0037	0,0032	0,0028	0,0023	0,0020	0,0018		
			1+2+3+4+5+6		0,1420	0,1421	0,1421	0,1422	0,1423	0,1424	0,0113	0,0105	0,0097	0,0089	0,0081	0,0073	0,0065	0,0057	0,0048	0,0040	0,0032	0,0025	0,0019	0,0016		
			1...10		0,1227	0,1227	0,1228	0,1228	0,1228	0,1229	0,1290	0,1230	0,1230	0,1231	0,0100	0,0090	0,0080	0,0070	0,0060	0,0050	0,0040	0,0030	0,0020	0,0014		
			visas		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
n x l _i	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	Δu, m																						
				25 %																						
				A, m ²	Δu																					
20x20	20	400	10	0,20304	0	0,0003	0,0007	0,0010	0,0014	0,0017	0,0021	0,0024	0,0027	0,0031	-0,0034	-0,0031	-0,0027	-0,0024	-0,0021	-0,0017	-0,0014	-0,0010	-0,0007	-0,0003	0	
			1+2		0	-0,0044	-0,0088	-0,0083	-0,0078	-0,0073	-0,0068	-0,0063	-0,0058	-0,0054	-0,0049	-0,0044	-0,0039	-0,0034	-0,0029	-0,0024	-0,0019	-0,0015	-0,0010	-0,0005	0	
			9+10		0	0,0005	0,0010	0,0015	0,0019	0,0024	0,0029	0,0034	0,0039	-0,0005	-0,0049	-0,0044	-0,0039	-0,0034	-0,0029	-0,0024	-0,0019	-0,0015	-0,0010	-0,0005	0	
			1+2+3		0	-0,0033	-0,0067	-0,0100	-0,0094	-0,0089	-0,0083	-0,0077	-0,0071	-0,0065	-0,0059	-0,0053	-0,0047	-0,0041	-0,0035	-0,0030	-0,0024	-0,0018	-0,0012	-0,0006	0	
			8+9+10		0	0,0006	0,0012	0,0018	0,0024	0,0030	0,0035	0,0041	0,0008	-0,0026	-0,0059	-0,0053	-0,0047	-0,0041	-0,0035	-0,0030	-0,0024	-0,0018	-0,0012	-0,0006	0	
			1+2+3+4+5+6		0	-0,0019	-0,0038	-0,0057	-0,0075	-0,0094	-0,0113	-0,0105	-0,0097	-0,0089	-0,0081	-0,0073	-0,0065	-0,0057	-0,0048	-0,0040	-0,0032	-0,0024	-0,0016	-0,0008	0	
			1...10		0	-0,0010	-0,0020	-0,0030	-0,0040	-0,0050	-0,0060	-0,0070	-0,0080	-0,0090	-0,0100	-0,0090	-0,0080	-0,0070	-0,0060	-0,0050	-0,0040	-0,0030	-0,0020	-0,0010	0	
			visas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

B.2 lentelės pabaiga

n x l _i	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	Δf, m																						
				50 %																						
				A, m ²	Δf																					
20x20	20	400	10	0,13536	0,0018	0,0019	0,0019	0,0020	0,0020	0,0021	0,0023	0,0024	0,0025	0,1737	0,0027	0,0025	0,0024	0,0023	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019	0,0019	0,0018		
			1+2		0,1594	0,1595	0,0062	0,0059	0,0055	0,0052	0,0049	0,0046	0,0043	0,0039	0,0036	0,0033	0,0031	0,0028	0,0025	0,0028	0,0021	0,0019	0,0018	0,0017		
			9+10		0,0017	0,0018	0,0019	0,0021	0,0028	0,0025	0,0028	0,0031	0,1594	0,1594	0,0036	0,0033	0,0031	0,0028	0,0025	0,0028	0,0021	0,0019	0,0018	0,0017		
			1+2+3		0,1497	0,1497	0,1498	0,0076	0,0072	0,0067	0,0063	0,0059	0,0054	0,0050	0,0046	0,0041	0,0037	0,0033	0,0029	0,0026	0,0022	0,0019	0,0017	0,0016		
			8+9+10		0,0016	0,0017	0,0019	0,0022	0,0026	0,0029	0,0033	0,1497	0,1497	0,1497	0,0046	0,0041	0,0037	0,0033	0,0029	0,0026	0,0022	0,0019	0,0017	0,0016		
			1+2+3+4+5+6		0,1316	0,1316	0,1317	0,1317	0,1318	0,1319	0,0097	0,0090	0,0083	0,0076	0,0069	0,0062	0,0055	0,0049	0,0042	0,0035	0,0028	0,0022	0,0017	0,0014		
			1...10		0,1180	0,1180	0,1180	0,1180	0,1180	0,1181	0,1180	0,1182	0,1182	0,1183	0,0093	0,0084	0,0074	0,0065	0,0056	0,0046	0,0037	0,0028	0,0019	0,0001		
			visas		0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
n x l _i	l _i , m	L, m	Apkraunamas tarpatramis	Δu, m																						
				50 %																						
				A, m ²	Δu																					
20x20	20	400	10	0,13536	0	0,0002	0,0004	0,0006	0,0008	0,0010	0,0012	0,0014	0,0016	0,0018	-0,0020	-0,0018	-0,0016	-0,0014	-0,0012	-0,0010	-0,0008	-0,0006	-0,0004	-0,0002	0	
			1+2		0	-0,0031	-0,0061	-0,0058	-0,0054	-0,0051	-0,0047	-0,0044	-0,0041	-0,0037	-0,0034	-0,0031	-0,0027	-0,0024	-0,0020	-0,0017	-0,0014	-0,0010	-0,0007	-0,0003	0	
			9+10		0	0,0003	0,0007	0,0010	0,0014	0,0017	0,0020	0,0024	0,0027	-0,0003	-0,0034	-0,0031	-0,0027	-0,0024	-0,0020	-0,0017	-0,0014	-0,0010	-0,0007	-0,0003	0	
			1+2+3		0	-0,0025	-0,0051	-0,0076	-0,0072	-0,0067	0,0063	-0,0058	-0,0054	-0,0049	-0,0045	-0,0040	-0,0036	-0,0031	-0,0027	-0,0022	-0,0018	-0,0013	-0,0009	-0,0005	0	
			8+9+10		0	0,0005	0,0009	0,0013	0,0018	0,0022	0,0027	0,0031	0,0006	-0,0019	-0,0045	-0,0040	-0,0036	-0,0031	-0,0027	-0,0022	-0,0018	-0,0013	-0,0009	-0,0005	0	
			1+2+3+4+5+6		0	-0,0016	-0,0032	-0,0049	-0,0065	-0,0081	-0,0097	-0,0090	-0,0083	-0,0076	-0,0069	-0,0062	-0,0055	-0,0049	-0,0042	-0,0035	-0,0028	-0,0021	-0,0014	-0,0007	0	
			1...10		0	-0,0009	-0,0019	-0,0028	-0,0037	-0,0046	-0,0056	-0,0065	-0,0074	-0,0084	-0,0093	-0,0084	-0,0074	-0,0065	-0,0056	-0,0046	-0,0037	-0,0028	-0,0019	-0,0009	0	
			visas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



B.4 pav. Daugiaatramės stygos skėtimo jėgos priklausomybė nuo išankstinio įtempimo apkrovus du, bet kuriuos konstrukcijos tarpatramius ir esant skirtingam jų skaičiui visoje konstrukcijoje



B.5 pav. Daugiaatramės stygos skėtimo jėgos priklausomybė nuo išankstinio įtempimo apkrovus tris, bet kuriuos, konstrukcijos tarpatramius ir esant skirtingam jų skaičiui visoje konstrukcijoje

B.3 lentelė. Vieno tarpatramio vienajuoščio kabamo, neįtempto ir įtempto styginio tilto skerspjūvio pločių, skėtimo jėgų ir įtempių palyginimas

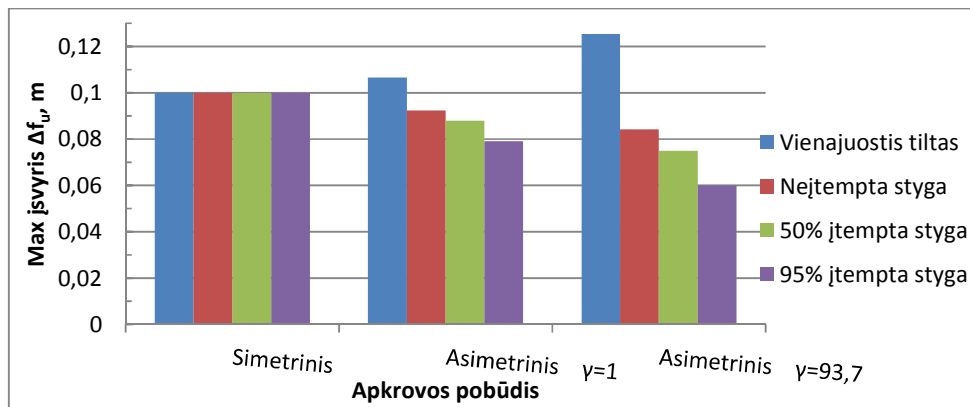
Vienas tarpatramis (SIM)		l/200			
		Vienajuostis	Styga		
			T = 0 %	T = 50 %	T = 95 %
l = 20 m	Δf_u , m	0,1	0,1	0,1	0,1
	A, m ²	0,0041	0,2870	0,1463	0,0196
	H, kN	631,5	3864,48	3864,48	3864,48
	σ , MPa	154,1	13,47	26,42	197,17
Vienas tarpatramis (ASIM)		l/200			
		Vienajuostis	Styga		
			T = 0 %	T = 50 %	T = 95 %
$\gamma=1$		$f_0 = l/40$			
l = 20 m	Δf_u , m	0,1066	0,0924	0,08796	0,07908
	A, m ²	0,0041	0,287	0,1463	0,0196
	H, kN	501,7	3219,33	3381,82	3761,58
	σ , MPa	122,37	11,12	23,12	191,88

B.3 lentelės pabaiga

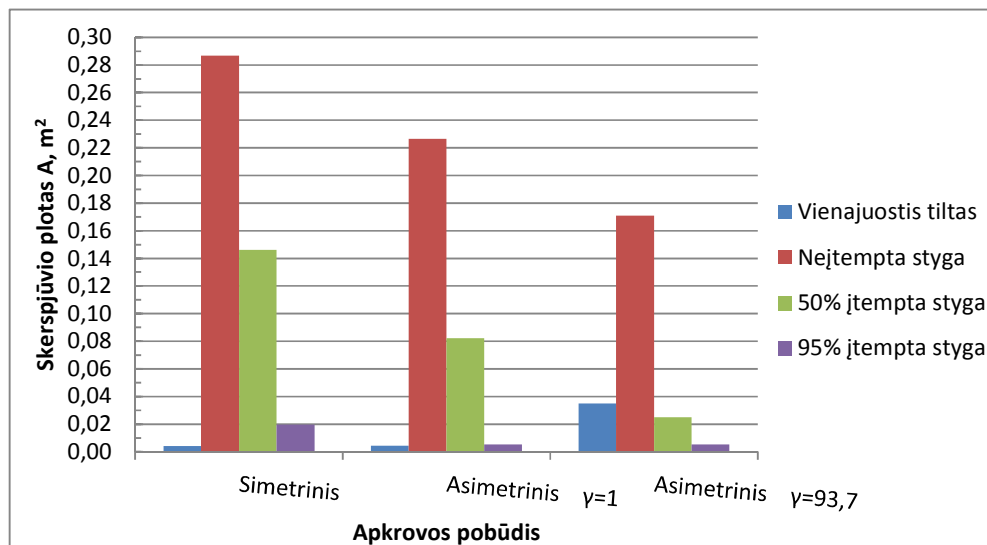
Vienas tarpatramis (ASIM)		l/200			
		Vienajuostis	Styga		
$\gamma=93,7$		$f_0 = l/40$	T = 0 %	T = 50 %	T = 95 %
l = 20 m	Δf_u , m	0,12527	0,08416	0,07492	0,06003
	A, m ²	0,0041	0,2870	0,1463	0,0196
	H, kN	404,0	2633,57	2958,53	3692,03
	σ , MPa	98,54	9,18	20,23	188,33

B.4 lentelė Vieno tarpatramio vienajuosčio kabamo, neįtemptojo ir įtemptojo styginio tilto skerspjūvio pločių, skėtimo jėgų ir įtempių palyginimas esant ribiniam vertikaliam poslinkiui ir simetriniam bei asimetriniam apkrovimui

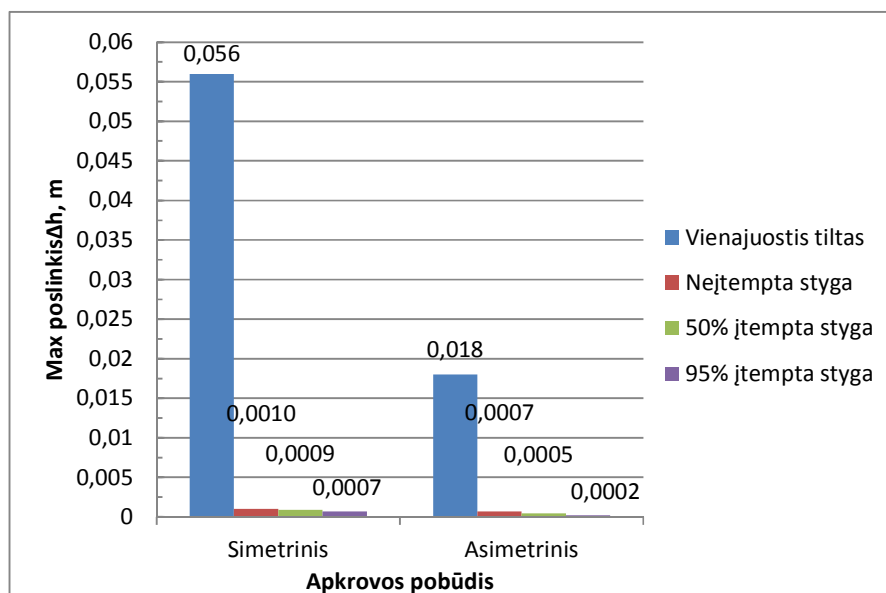
Vienas tarpatramis (SIM)		l/200			
		Vienajuostis	Styga		
		$f_0 = l/40$	T = 0 %	T = 50 %	T = 95 %
l = 20 m	Δf_u , m	0,1	0,1	0,1	0,1
	A, m ²	0,0041	0,2870	0,1463	0,0196
	H, kN	631,5	3864,48	3864,48	3864,48
	σ , MPa	154,1	13,47	26,42	197,17
Vienas tarpatramis (ASIM)		l/200			
		Vienajuostis	Styga		
		$f_0 = l/40$	T = 0 %	T = 50 %	T = 95 %
l = 20 m	Δf_u , m	0,1	0,1	0,1	0,08157
	A, m ²	0,0045	0,2265	0,0822	0,0053
	H, kN	506,9	2975,08	2974,86	3646,83
	σ , MPa	112,64	13,14	36,19	688,08
Vienas tarpatramis (ASIM)		l/200			
		Vienajuostis	Styga		
		$f_0 = l/40$	T = 0 %	T = 50 %	T = 95 %
l = 20 m	Δf_u , m	0,1	0,1	0,1	0,06112
	A, m ²	0,0350	0,1711	0,0249	0,0053
	H, kN	415,4	2216,53	2216,83	3626,15
	σ , MPa	11,87	12,95	89,21	684,18



B.6 pav. Vieno tarpatramio konstrukcijų maksimalių poslinkių palyginimas



B.7 pav. Vieno tarpatramio konstrukcijų skerspjūvio plotų palyginimas



0 pav. Dvitrapių konstrukcijų vidurinės atramos horizontalus poslinkis, kai $l/200$