VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

TILTŲ IR SPECIALIŲJŲ STATINIŲ KATEDRA

Aušra Kavaliauskaitė

KILNOJAMOJO STIEBO – BOKŠTO ELGSENOS ANALIZĖ

THE ANALYSIS OF BEHAVIOR OF A MOVABLE GUYED MAST – TOWER

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 621H21001

Specialiųjų statinių specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2017

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

TILTŲ IR SPECIALIŲJŲ STATINIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)
_Gintaris Kaklauskas__
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Aušra Kavaliauskaitė

KILNOJAMOJO STIEBO – BOKŠTO ELGSENOS ANALIZĖ

THE ANALYSIS OF BEHAVIOR OF A MOVABLE GUYED MAST – TOWER

Baigiamasis magistro darbas

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas 621H21001

Specialiųjų statinių specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas	Doc. dr. Donatas Jatulis (Moksl. laipsnis/pedag., vardas, pavardė)	(Parašas)	2017-06-08 (Data)
Konsultantas	_____ (Moksl. laipsnis/pedag., vardas, pavardė)	_____ (Parašas)	_____ (Data)
Konsultantas	_____ (Moksl. laipsnis/pedag., vardas, pavardė)	_____ (Parašas)	_____ (Data)
Lietuvių kalbos konsultantas	Lek. Lina Rutkienė (Mok. laips./pedag.,vardas, pavardė)	(Parašas)	2017-06-08 (Data)

Vilnius, 2017

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
TILTŲ IR SPECIALIJŲ STATINIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Statinių konstrukcijų studijų programa, valstybinis kodas

621H21001 Specialiųjų statinių specializacija

_____
(Parašas)

_____
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

.....Nr. .....
Vilnius

Studentui (ei) **Aušra Kavliauskaitė**
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: **Kilnojamojo stiebo-bokšto elgsenos analizė**

patvirtinta 2017 m. kovo 15 d. dekano potvarkiu Nr. 123 st.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2016m. birželio 1 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išanalizuoti naujos sandaros stiebo-bokšto elgseną, atlikti literatūros apžvalgą šia tema, suformuluoti išvadas. Darbą apipavidalinti pagal VGTU nustatytus reikalavimus.

Vadovas *dr. Donatas Jatulis* (Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)
(Parašas)

Užduotį gavau
.....
(Parašas)
Aušra Kavliauskaitė
.....
(Vardas, pavardė)

.....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universiteto
egzaminų sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo
bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Aušra Kavaliauskaitė, 20083809
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)
Statybos fakultetas
(Fakultetas)
Statinių konstrukcijos, SPSTfm-15
(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. birželio 05 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Kilnojamojo stiebo - bokšto elgsenos analizė" patvirtintas 2017 m. kovo 15 d. dekano potvarkiu Nr. 123st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: dr. Donatas Jatulis. Mano darbo vadovas dr. Donatas Jatulis.

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

(Parašas) Aušra Kavaliauskaitė
(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	**Kilnojamojo stiebo - bokšto elgsenos analizė**
Autorius	**Aušra Kavaliauskaitė**
Vadovas	**Donatas Jatulis**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Vienas pagrindinių aukštųjų plieno statinių: bokštų ir stiebų, trūkumų yra didelis užstatomos žemės plotas ir stacionarumas, todėl sunku rasti vietą tokiems statiniams tankiai apgyvendintose teritorijose. Šias problemas išsprendžia kilnojamieji kombinuotos konstrukcijos stiebai - bokštai, kuriems nereikalingi pamatai ir kurie užima mažesnį žemės sklypą. Šiame magistro baigiamajame darbe pasirinktas nagrinėti kilnojamasis stiebas - bokštas ypatingas savo konstrukcija, kurią sudaro vientiso skerspjūvio ištisinis apvalus vamzdis, prie kurio yra tvirtinamos papildomos žiedų konstrukcijos, jungiančios atotampas su visa konstrukcija. Šiame darbe analizuojama pasirinkto kilnojamojo stiebo - bokšto elgsena keičiant jo komponuojamuosius parametrus, tiriamos konstrukcijos kamiene susidarančios įrąžos ir deformacijos. Analizė atliekama keičiant šiuos komponuojamuosius parametrus: kampo tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų mažinimas; kamieno skerspjūvio didinimas; žiedų skersmens didinimas, tarpatramio tarp žiedų mažinimas, atotampų išankstinio įtempimo didinimas. Lyginamos įražos ir deformacijos susidarančios kai kilnojamojo stiebo - bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai ir standžiai. Atlikus tyrimą matyti, kad standžiai įtvirtintas konstrukcijos kamienas suteikia visam kilnojamajam stiebui - bokštui stabilumo, bet ties kamieno atramos tašku susidaro dideli lenkimo momentai. Lanksčiai įtvirtintame konstrukcijos kamiene susidaro mažesni lenkimo momentai lyginant su standžiai įtvirtinta, bet, šiuo atveju, kyla didesnių problemų su kamieno viršūnės deformacijomis.

Darbo apimtis – 90 puslapių. Tekste pateikti 51 paveikslai ir 35 lentelės. Rašant darbą remtasi 12 literatūros šaltinių.

Prasminiai žodžiai: stiebas, bokštas, kilnojamasis stiebas - bokštas, komponuojamieji parametrai, lenkimo momentas, viršūnės poslinkis, viršūnės posūkio kampas

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	**The Analysis of Behavior of a Movable Guyed Mast - Tower**
Author	**Aušra Kavaliauskaitė**
Academic supervisor	**Donatas Jatulis**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

One of the main high steel structures: towers and masts, deficiency is that the large area of the land is needed to build such a construction and the stationarity of such a structures. This is why it is difficult to find a place for such a buildings in densely populated areas. The mobile masts - towers solves these problems becouse they can be build without foundation and they take up less land. In this master degree work is analyzed mobile guyed mast - tower is special becouse of his construction, which is formed from single continuous section with additional rings, to which the cables are installed. In this master degree work is analyzed how the streses and deformations of construction is changing than the parametres are changed. Changed parametres: the reduction of the angle between consolidation point of the guies and constraction bole; increasing the sections of bole; increasing the diametre of constracion rings; increasing the number of rings. In this work is comparing the stresses and deformations of construction than consolidation point of bole is fixed and flexible. The study shows that the the bole, which is fixed, gives the better stabillity to all movable guyed mast - tower, but the are big bending moments in the consolidation point. Than the bole is flexible the bending moments are less, than in the construction with fixed bole, but there are some problems with the top deformation and rotation angle. Size of the thesis - 90 pages. The text contains 51 figure and 35 tables. The thesis refers to 12 literature references.

Keywords: Guyed mast, tower, movable guyed mast - tower, bending moment, top displacement, top rotation angle.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 8
LENTELIŲ SĄRAŠAS 11
ĮVADAS 12
1. AUKŠTŲJŲ PLIENO STATINIŲ KONSTRUKCIJŲ APŽVALGA 13
1.1. Bokštų konstrukcijų apžvalga 14
1.1.1. Spragotos konstrukcijos bokštai 15
1.1.2. Ištisinio skerspjūvio bokštai 17
1.2. Stiebų konstrukcijų apžvalga 18
1.3. Kilnojamųjų stiebų − bokštų konstrukcijų apžvalga 21
1.3.1. Kilnojamojo stiebo − bokšto klasifikacija pagal transportavimą ir konstrukcijos montavimą 22
1.3.2. Kilnojamojo stiebo − bokšto klasifikavimas pagal jo kamieno konstrukciją 24
2. KOMPONUOJAMŲJŲ PARAMETRŲ ĮTAKA STIEBO – BOKŠTO ĮTEMPIŲ IR DEFORMACIJŲ BŪVIUI 28
2.1. Kampo tarp stiebo – bokšto kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų mažinimo įtaka įtempių ir deformacijų būviui 29
2.2. Kamieno skerspjūvio didinimo įtaka stiebo – bokšto įtempiams ir deformacijoms 36
2.3. Žiedų skersmens didinimo įtaka kilnojamojo stiebo – bokšto įtempiams ir deformacijoms 42
2.4. Žiedų skaičiaus didinimo įtaka kilnojamojo stiebo – bokšto įtempiams ir deformacijoms 49
2.5. Atotampų įtempimo didinimo įtaka stiebo – bokšto įtempiams ir deformacijoms 55
3. KOMPONUOJAMŲJŲ PARAMETRŲ ĮTAKA KILNOJAMOJO STIEBO – BOKŠTO PASTOVUMUI 59
IŠVADOS 64
LITERATŪROS SĄRAŠAS 67
A PRIEDAS 68

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Aukštųjų plieno statinių klasifikacija pagal paskirtį: a) stiebas; b) bokštas; c) specializuotas TV bokštas; d) elektros linijos atramos (Fujian Jianshi...2016) 14
1.2 pav. Bokštų apybraižos: a) bokšto konstrukcija tiesi be linijos lūžio; b) bokšto konstrukcija siaurėjanti, bet be linijos lūžio; c) bokšto konstrukcija su vienu linijos lūžiu; d) bokšto konstrukcija su dviem linijos lūžiais 14
1.3 pav. Pagrindinės bokšto tinklelių elementų schemos (LST EN 1993−3−1) 15
1.4 pav. Nepagrindinių bokšto tinklelių elementų schemos (LST EN 1993−3−1) 16
1.5 pav. Tipinės diafragminių tinklelių elementų schemos (LST EN 1993−3−1) 17
1.6 pav. Stiebų forma plane (Smith 2007) 19
1.7 pav. Stiebo kamieno įtvirtinimo pamate būdai: a), b) lankstus įtvirtinimas; c) standus įtvirtinimas (DePumpo 1996) 20
1.8 pav. Stiebo pasisukimą ribojanti konstrukcija („Rohan 65G“ sistema) 20
1.9 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto privalumai ir trūkumai 21
1.10 pav. Iš atskirų sekcijų surenkami kilnojamieji stiebai − bokštai: a) stabilumas užtikrinamas pastatant serverio stotelę („KICO“ sistema, „Calvazara“); b) stabilumas užtikrinamas papildomomis atramomis („SMU“ sistema, „Belmast“) 22
1.11 pav. Kilnojamieji stiebai – bokštai, sumontuoti ant ratų kaip priekaba („MFTR“ sistema, „Calvazara“) 23
1.12 pav. Kilnojamieji stiebai − bokštai įmontuoti sunkvežimyje („MTTR“ sistema, „Calvazara“) 24
1.13 pav. Flanšinėmis jungtimis sujungtas kilnojamojo – stiebo bokšto kamienas: a) ištisinio skerspjūvio kamienas („MFUC“ sistema, „Calvazara“); b) spragotos konstrukcijos kamienas („SMU“ sistema, „Belmast“) 25
1.14 pav. Plokščio kilnojamojo stiebo – bokšto schema: a) kilnojamojo stiebo – bokšto, kurio kamienas yra sudarytas iš plokščių santvarų, konstrukcijos schema (GB 2 343 903 A); b) kamieno, sudaryto iš plokščių santvarų, konstrukcijos mazgai 26
1.15 pav. Teleskopinio kilnojamojo – stiebo bokšto konstrukcija (US 7574832 B1) 27
2.1 pav. Pirminė kilnojamojo stiebo − bokšto konstrukcija 29
2.2 pav. Kampo tarp kilnojamojo stiebo − bokšto kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų mažinimo schema 30
2.3 pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto lenkimo momentų diagrama, kai mažinamas kampas tarp atotampų ir kamieno įtvirtinimo mazgų, kamienas įtvirtintas standžiai 31
2.4 pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto lenkimo momentų diagrama, kai mažinamas kampas tarp atotampų ir kamieno įtvirtinimo mazgų, kamienas įtvirtintas lanksčiai 32

2.5 pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai 33
2.6 pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 33
2.7 pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai 34
2.8 pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 35
2.9 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno skersmens didinimo schema 36
2.10 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos kamieno skerspjūvis, kamienas įtvirtintas standžiai 37
2.11 pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos kamieno skerspjūvis, kamienas įtvirtintas lanksčiai 38
2.12 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai 39
2.13 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 40
2.14 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai 40
2.15 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 41
2.16 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto žiedų skersmens didinimo schema 43
2.17 pav. Stiebo − bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos žiedų skersmuo, kamienas įtvirtintas standžiai 44
2.18 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos žiedų skersmuo, kamienas įtvirtintas lanksčiai 45
2.19 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai 46
2.20 pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 46
2.21 pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai 47
2.22pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 48
2.23 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto tarpatramio tarp žiedų mažinimo schema 49

2.24 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos žiedų skersmuo, kamienas įtvirtintas standžiai 50
2.25 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos žiedų skaičius, kamienas įtvirtintas lanksčiai 51
2.26 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai 52
2.27 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 53
2.28 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai 53
2.29 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 54
2.30 pav. Lenkimo momentų reikšmės ties kilnojamojo stiebo – bokšto atramos mazgu, kai didinamas atotampų įtempimas 56
2.31 pav. Kilnojamojo stiebo − bokšto ašinių jėgų F(x) ir F(z) reikšmės, kai yra didinamas atotampų įtempimą 57
2.32 pav. Konstrukcijos viršūnės poslinkio kitimas didinant atotampų įtempimą 57
2.33 pav. Konstrukcijos viršūnės posūkio kampo kitimas didinant atotampų įtempimą 58
3.1 pav. Standžiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo – bokšto klupumo formos 59
3.2 pav. Lanksčiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo − bokšto klupumo formos 61

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Kilnojamojo stiebo – bokšto įrąžų, viršūnės poslinkio ir posūkio kampo kitimas didinant atotampų įtempimą, kai kamienas įtvirtintas standžiai 55
3.1 lentelė. Standžiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno efektyvusis ilgis atsižvelgiant į komponuojamųjų parametrų keitimą. 60
3.2 lentelė. Lanksčiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno efektyvusis ilgis atsižvelgiant į komponuojamųjų parametrų keitimą. 62
A. 1 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai mažinant kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas standžiai 68
A. 2 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai mažinant kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 69
A. 3 lentelė. Stiebo − bokšto poslinkiai mažinat kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas standžiai 70
A. 4 lentelė. Stiebo − bokšto poslinkiai mažinat kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 70
A. 5 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas mažinant kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas standžiai 70
A. 6 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas mažinant kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 71
A. 7 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas standžiai 72
A. 8 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 73
A. 9 lentelė. Stiebo − bokšto poslinkiai didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas standžiai 74
A. 10 lentelė. Stiebo − bokšto poslinkiai didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 74
A. 11 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas standžiai 74
A. 12 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 75
A. 13 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas standžiai 76
A. 14 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 77

A. 15 lentelė. Stiebo − bokšto poslinkiai didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas standžiai 78
A. 16 lentelė. Stiebo − bokšto poslinkiai didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 78
A. 17 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas standžiai 78
A. 18 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 79
A. 19 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentas mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas standžiai 80
A. 20 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentas mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 81
A. 21 lentelė. Stiebo − bokšto poslinkiai mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas standžiai 82
A. 22 lentelė. Stiebo − bokšto poslinkiai mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 82
A. 23 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas standžiai 83
A. 24 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai 83
A. 25 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai jo skerspjūvis didinimas, įtvirtinimas standus .. 84
A. 26 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai mažinamas kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo taškų, įtvirtinimas standus 85
A. 27 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai mažinamas tarpatramis tarp žiedų, įtvirtinimas standus 86
A. 28 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai didinamas žiedų skersmuo, įtvirtinimas standus 87
A. 29 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai jo skerspjūvis didinimas, įtvirtinimas lankstus . 88
A. 30 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai mažinamas kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo taškų, įtvirtinimas lankstus 89
A. 31 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai mažinamas tarpatramis tarp žiedų, įtvirtinimas lankstus 90
A. 32 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai didinamas žiedų skersmuo, įtvirtinimas lankstus 91

ĮVADAS

Aukštieji statiniai itin svarbi ir įdomi statybos inžinerijos sritis, nes būtent šios konstrukcijos statiniuose susiduriama su tokiomis problemomis, kaip viršūnės posūkio, poslinkio ir konstrukcijos pastovumo užtikrinimas. Pagrindinės aukštųjų plieno statinių paskirtys yra šios: telekomunikaciniai statiniai, elektros linijų atramos, specialios paskirties bokštai, vėjo jėgainių atramos, vandens bokštai, apšvietimo stulpai. Išskiriamos kelios aukštųjų plieno statinių rūšys, t.y. bokštai, stiebai ir kombinuotos stiebo – bokšto konstrukcijos.

Akivaizdu, kad aukštieji plieno statiniai yra dažnai naudojama ir reikalinga konstrukcija, bet ji turi ir keletą trūkumų, kurie palieka erdvę kurti tokias statinių konstrukcijas, kurios tas problemas išsprendžia. Viena iš problemų, su kuria susiduriama projektuojant bokštus ir stiebus, yra ta, kad tai – stacionari struktūra, t.y. ji turi savo pamatus ar įtvirtinimus ir dėl to jos pergabenimas ir sumontavimas kitoje vietoje sukelia nepatogumų. Kitas paminėtinas trūkumas, kuris itin aktualus stiebų konstrukcijoms, tas, kad toks statinys užima didelį žemės sklypą, todėl išauga jo savikainos kaštai, o tai jau nepalanku ekonomiškai ir apriboja tokių statinių statymą tankiai apgyvendintose teritorijose.

Vienas iš šių problemų, susijusių su aukštaisiais plieno statiniais, sprendimo būdų yra kilnojamasis stiebas – bokštas. Tai yra tokia konstrukcija, kuri išsprendžia didelio užstatymo ploto ar statinio stacionarumo problemas. Taip pat kilnojamasis stiebas – bokštas yra puiki išeitis tada, kai reikia užtikrinti mobiliojo ar radijo ryšio kokybę, apšvietimą ar garsą laikinose vietose, nes jam nereikalingi papildomi pamatai ir jis sumontuojamas gana greitai, palyginus su įprasta stiebo ar bokšto konstrukcija. Vienintelis apribojimas yra tas, kad tokia konstrukcija neprilygsta savo aukščiu įprastiems aukštiesiems plieno statiniams.

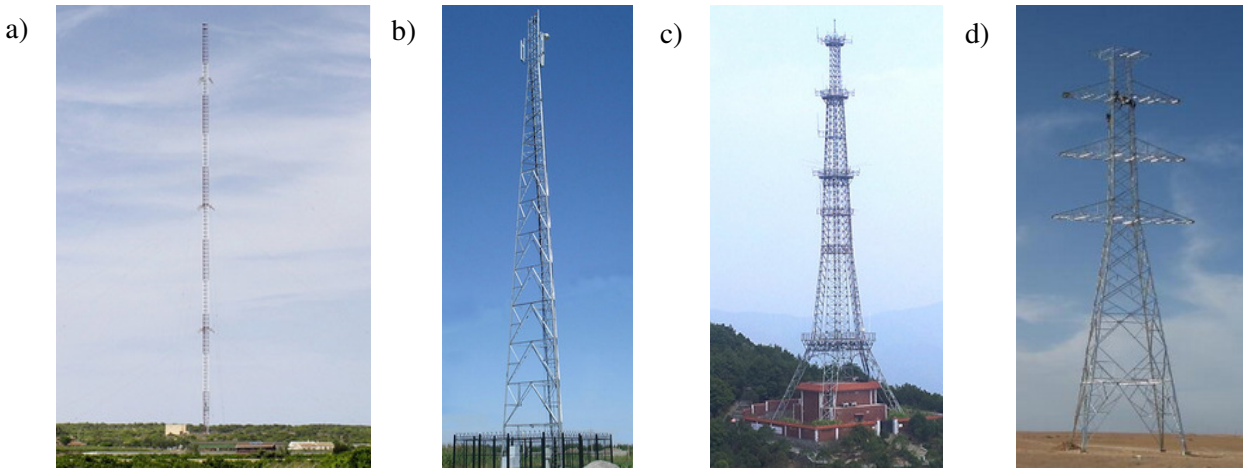
Šiame darbe pasirinktas nagrinėti naujos konstrukcijos kilnojamasis stiebas – bokštas, kuris įdomus tuo, kad jo kamienas yra vientiso skerspjūvio, prie kurio per specialus žiedus tvirtinamos atotampos. Darbe bus tiriama, kokią įtaka komponuojamųjų parametrų keitimas turi konstrukcijoje atsirandančioms įrąžoms ir deformacijoms.

Darbo tikslas yra išanalizuoti pasirinkto kilnojamojo stiebo – bokšto elgseną keičiant jo komponuojamuosius parametrus.

Darbo tikslui pasiekti keliami tokie uždaviniai: atlikti su aukštaisiais plieno statiniais s□s j□s□os l□t□r□tūros □pžv□lgą; s□mod□l□□ot□p□s□r□nktą k□lnoj□mojo st□□bo – bokšto konstr□k□ją; □tl□kt□s□mod□l□□oto k□lnoj□mojo – st□□bo bokšto konstr□k□jos □n□l□zę k□č□□nt jo komponuojamuosius parametrus, suformuluoti išvadas.

1. AUKŠTŲJŲ PLIENO STATINIŲ KONSTRUKCIJŲ APŽVALGA

Viena iš pagrindinių sričių, kai statomi aukštieji plieno statiniai, yra telekomunikacinės paskirties stiebai ir bokštai. Jie yra aukšti plieno statiniai, kurių pagrindinė paskirtis – iškelti radijo antenas telekomunikacinio ryšio skleidimui, bet tokios konstrukcijos statiniai dažnai naudojami ir kitiems tikslams: elektros linijų atramoms; vėjo jėgainių atramoms; išmetimo dujų ir kaminų bokštams; vandentiekio bokštams; apžvalgos bokštams; apšvietimo bokštams ir stovams (žr. 1.1 pav.).

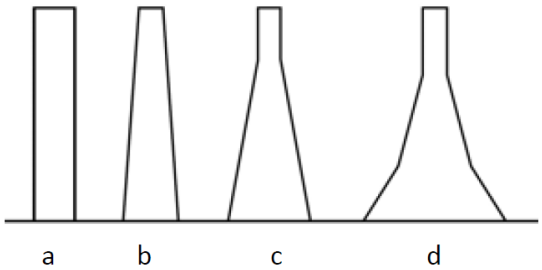


1.1 pav. Aukštųjų plieno statinių klasifikacija pagal paskirtį: a) stiebas; b) bokštas c) specializuotas TV bokštas; d) elektros linijos atramos (Fujian Jianshi...2016)

1.1. Bokštų konstrukcijų apžvalga

Bokštinės konstrukcijos nuo pastatų skiriasi dideliu konstrukcijos aukščiu, kurio matmuo yra daug didesnis už matmenis plane. Plieniniai bokštai pasižymi nedidele technologinių įrenginių mase lyginant su konstrukcijos savuoju svoriu.

Bokštai pagal simetrijos ašį projektuojami be linijos lūžių arba turi vieną – du juostos linijos lūžius (žr. 1.2 pav.).

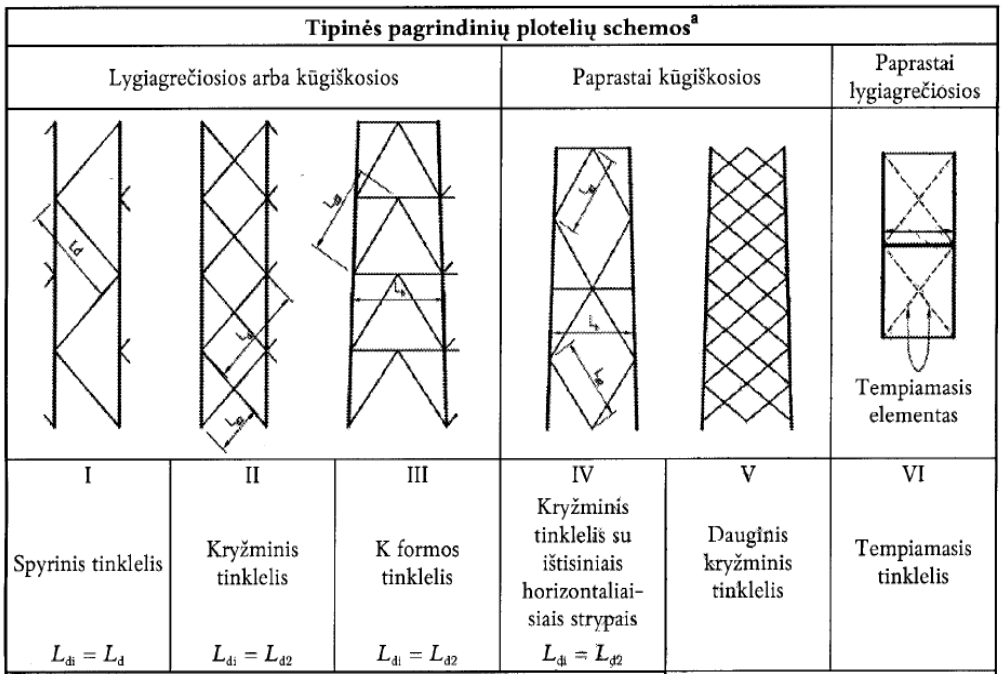


1.2 pav. Bokštų apybraižos: a) bokšto konstrukcija tiesi be linijos lūžio; b) bokšto konstrukcija siaurėjanti, bet be linijos lūžio; c) bokšto konstrukcija su vienu linijos lūžiu; d) bokšto konstrukcija su dviem linijos lūžiais

Bendrais bruožais siekiama bokšto formą priartinti prie lenkimo momentų diagramos. Bokšto pagrindo ir aukščio matmenų santykis kinta ribose nuo 1:10 iki 1:20. Tai labiausiai priklauso nuo apkrovos dydžio ir profilių asortimento, naudojamų labiausiai apkrautiems bokšto elementams – juostoms.

1.1.1. Spragotos konstrukcijos bokštai

Spragotos konstrukcijos bokštai sudaryti iš dviejų pagrindinių konstrukcinių elementų: juostų, kurios perima pagrindines apkrovas, ir tinklelio. Tinklelio forma gali būti įvairi (žr. 1.3 pav.) priklausomai nuo veikiančių išorinių apkrovų, ekonominių reikalavimų ir kitų veiksnių.



1.3 pav. Pagrindinės bokšto tinklelių elementų schemos (LST EN 1993–3–1)

Išskiriamos septynios pagrindinės bokštinių statinių tinklelių schemos, kurios pasižymi skirtingomis savybėmis. Tai spyrinis tinklelis, kryžminis tinklelis, K formos tinklelis, kryžminis tinklelis su ištisiniais horizontaliaisiais strypais, dauginis kryžminis tinklelis ir tempiamasis tinklelis. Toliau atskirai aptariamos kiekvieno tinklelio savybės.

Spyriniai bokšto tinklelio elementai dirba tiek gniuždymui tiek tempimui. Elementų skerspjūviai yra parenkami pagal klupumo sąlygas, bet jų klumpamasis ilgis yra didelis, todėl reikalingi didesnio skerspjūvio profiliuočiai, kas padidina pačio bokšto savajo svorio apkrovą. Naudojant tokio tipo tinklelį pačio bokšto gamyba ir montavimas yra patogesni.

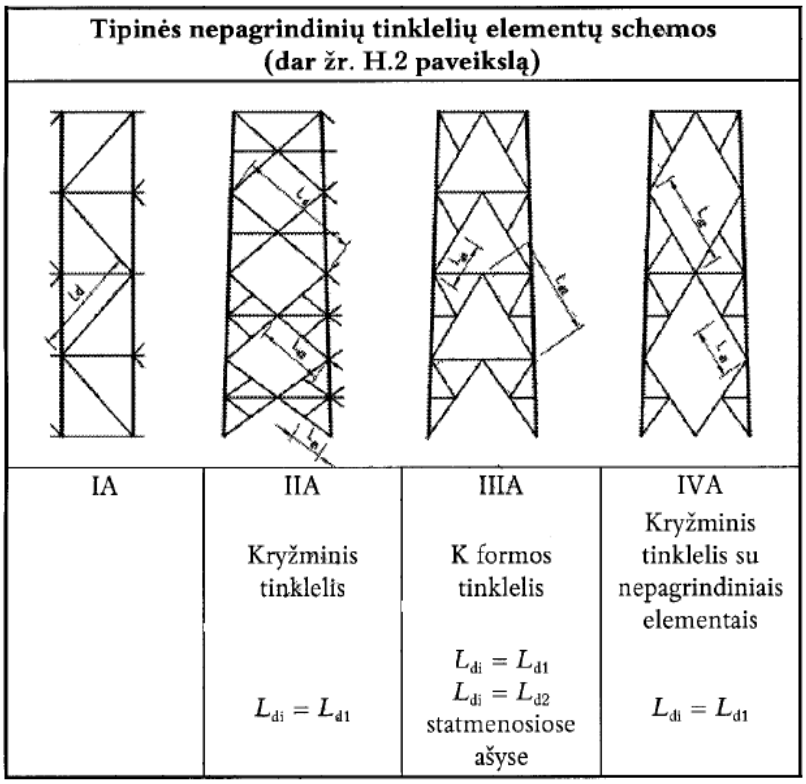
Kryžminio tinklelio spyriai dirba ir tempimui ir gniuždymui. Tokio tipo tinklelio elementai, persikirtimo vietose, yra sujungiami, todėl sumažėja spyrių skaičiuojamasis ilgis plokštumoje, o tempiamas spyris, persikirtimo taške, sumažina klupdomo spyrio skaičiuojamąjį ilgį plokštumoje. Kai įprastas kryžminis tinklelis papildomas ištisiniais horizontaliais strypais sumažinamas juostų skaičiuojamasis ilgis ir tokiu būdu sumažinamas jų skerspjūvis arba praplatinamas bokštas.

K formos tinklelis sudarytas iš elementų dirbančių ir tempimui ir gniuždymui. Tai priklausomo nuo vėjo apkrovos krypties. Šio tipo tinklelio elementų darbas panašus į kryžminio tinklelio elementų darbą.

Dauginis tinklelis yra kryžminio tinklelio atmaina, bet, dėl sudėtingo montavimo, retai naudojamas.

Tempiamam tinkleliui dažniausiai naudojamos iš anksto įtemptos templės. Šių elementų stiprumo neriboja klupumo sąlygos, bet sudėtingas montavimas ir brangi eksploatacija, nes nuolatos reikia tikrinti ar pakankamas templių išankstini įtempimas.

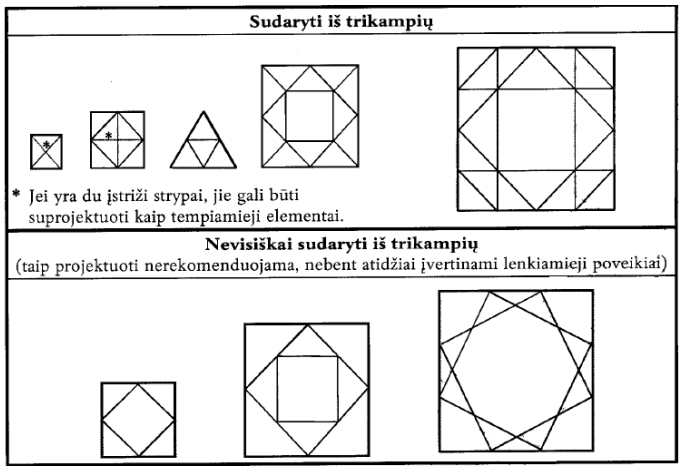
Prie jau aptartų pagrindinių tinklelio elementų dažnai naudojami ir nepagrindiniai elementai, kurių paskirtis − sumažinti pagrindinių elementų skaičiuojamąjį ilgį ir elementų skerspjūvį (žr.1.4.pav.).



1.4 pav. Nepagrindinių bokšto tinklelių elementų schemos (LST EN 1993−3−1)

Kaip parodyta 1.4 paveiksle, nepagrindinės bokštinių statinių tinklelių elementų schemos išsiskiria tuo, kad yra įvedami papildomi elementai, kurie gali būti įstriži ir horizontalūs. Pagrindinis jų įvedimo tikslas – sumažinti skaičiuojamąjį bokšto juostos ilgį, kad būtų galima sumažinti jos skerspjūvį. Taip pat nepagrindiniai tinklelių elementų tipai naudojami, kai bokštinis statinys itin aukštas.

Dar vienas bokštinio statinio tinklelio tipas yra diafragminis tinklelis. Jis naudojamas tose bokšto vietose, kuriose flanšinėmis jungtimis yra jungiamos skirtingos sekcijos arba tose vietose, kuriose lūžta bokšto juostos ir keičiasi jo apybraiža.



1.5 pav. Tipinės diafragminių tinklelių elementų schemos (LST EN 1993–3–1)

Kaip pavaizduota 1.5 paveiksle, gali būti naudojami dviejų tipų diafragminiai tinkleliai. Vienas jų yra sudarytas iš trikampių, kitas – nevisiškai sudarytas iš trikampių, bet šis diafragmino tinklelio tipas nėra itin geras, nes reikia atidžiai įvertinti lenkiamąjį poveikį.

1.1.2. Ištisinio skerspjūvio bokštai

Ištisinio skerspjūvio bokštai gali sklandžiai siaurėti iki viršūnės, bet perėjimuose reikalingos žiedinės sąstandos. Taip pat naudojamos ir išilginės bei skersinės sąstandos tam, kad būtų užtikrinamas bokšto stabilumas.

Didelis ištisinio bokšto privalumas yra tas, kad jis apledėja žymiai mažiau nei spragotos konstrukcijos bokštai ir tai savo ruožtu sumažina vėjo apkrovą į apledėjusį kamieną.

Pagrindiniai trūkumai tai, kad susidaro didesnė galutinė statybos kaina dėl didesnių plieno sąnaudų. Eksploataciniu požiūriu trūkumas yra tai, kad gali susidaryti

kondensatas vidinėje stiebo dalyje, dėl to gali prasidėti ankstyva bokšto erozija. Taip pat, veikiant vėjo apkrovai pasitaiko rezonansinės vibracijos.

1.2. Stiebų konstrukcijų apžvalga

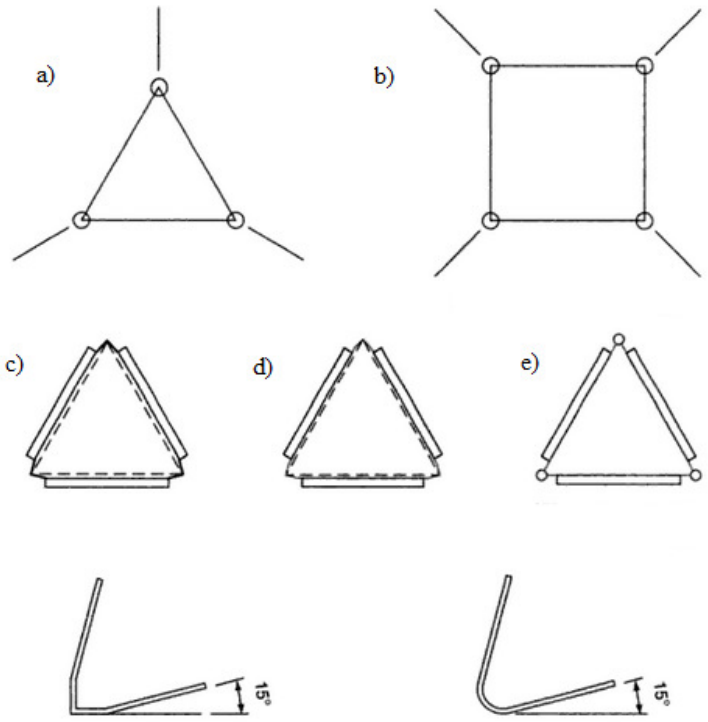
Didėjant statinio aukščiui bokšto konstrukcija pasirenkama rečiau, nes smarkiai kyla tokių statinių, palyginti su stiebais, kaina, bet jei atrama naudojama ne tik telekomunikaciniams tikslams, tada dažniausiai statomi metaliniai arba gelžbetoniniai bokštai, priešingu atveju – spragotinio skerspjūvio stiebai.

Stiebo kamieno plotis dažniausia yra pastovus, bet pasitaiko ir kintamo pločio: trapeciniai arba teleskopiniai stiebai.

Stiebo konstrukciją sudaro kelios dalys, t.y. kamienas, keliais lygiais išdėstytos atotampos ir inkariniai pamatai. Atotampos gali būti tvirtinimas į vieną inkarinį pamatą arba į kelis skirtingus. Stiebo aukščio ir skerspjūvio apibrėžimo skersmuo turi tenkinti sąlygą: $200 \geq H/D \geq 60$. Taip pat atstumai tarp atotampų tvirtinimo taškų turi tenkinti sąlygą: $30D \geq l \geq 15D$, kur l atstumas tarp atotampų tvirtinimo taškų.

Atotampos atlieka paslankių atramų, ant kurių remiasi nekarpytas stiebo kamienas, funkciją. Jų lygių skaičiaus didinimas yra paprasčiausias būdas sumažinti kamieno skaičiuojamąjį ilgį, lenkiamuosius momentus ir pačio kamieno masę tam, kad būtų sumažinta viso statinio kainą. Bet stiebų montavimas yra imlus iteracinis procesas, nes užtikrinant vienodą atotampų išankstinį įtempimą atliekamas didelis įtempimo ciklų skaičius, todėl norint išvengti montavimo ir eksploatavimo sudėtingumo, didelio atotampų lygių skaičiaus vengiama. Taip pat neracionalu didinti atotampų skaičiaus, nes atotampų, perimančių vėjo apkrovą veikiančią į stiebą, plotas išskaidomas, o tai neigiamai atsiliepia į suminę vėjo bei apledėjimo apkrovą. Optimalus atotampų kampas, atotampų išnaudojimo požiūriu, su kamienu yra 45°, bet taupant lėšas ir montavimo laiką šis kampas gali svyruoti nuo 30° iki 60° priklausomai nuo to ar jos jungiamos viename pamate ar keliuose. Didesniu kampu įtempiamos atotampos neefektyviai atlieka tampriųjų atramų funkciją ir nenaudingai apkrauna kamieną didelėmis ašinėmis jėgomis. Tinkamas atotampų išankstinio įtempimo parinkimas yra vienas svarbiausių veiksnių stiebų projektavime, nes nuo to priklauso įtempių pasiskirstymas stiebo kamiene. Racionalus atotampų išankstinis įtempimas svyruoja nuo 50 MPa iki 300 MPa. Mažesnės įtempimo reikšmės neužtikrina reikiamo paslankių atramų standumo, o didesnės – tik nereikalingai apkrauna stiebo kamieną ir mažina atotampų atsparumą vibracijoms.

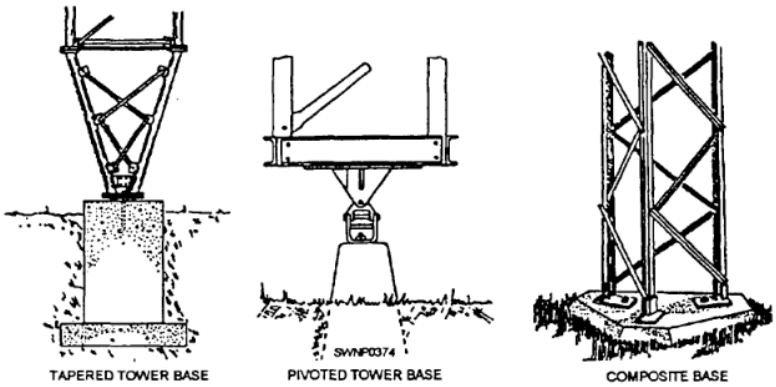
Stiebų kamienas gali būti ištisinio, apvalaus, trikampio arba kvadratinio spragotinio skerspjūvio. Kaip ekonomiškiausi išskiriami tribriauniai, iš apvalaus skerspjūvio elementų pagaminti, spragotiniai stiebai. Naudojant apvalaus skerspjūvio juostas yra paprasčiau konstruoti kamieną, nes tinklelio elementai jungiami tiesiogiai privirinant prie juostų (žr. 1.6 pav. (a, b)) arba per tarpines plokšteles (žr. 1.6 pav. (e)). Dėl gerų aerodinaminių savybių apvalūs skerspjūviai (vamzdžiai ir strypai) naudojami ne tik juostoms ar tinklelio elementams, bet ir kitoms stiebo dalims: kopėčioms, aptvėrimams ir kitiems elementams.



1.6 pav. Stiebų forma plane (Smith, 2007)

Tribriaunių stiebų konstravimas sudėtingesnis kamieno juostoms naudojant kampuočius kamieno juostoms, nes tada tinklelio strypai jungiami lenktomis tarpinėmis plokštelėmis (žr. 1.6 pav. (c)). Taip pat galima naudoti ir juostoms įprastus kampuočius, bet juos reiktų pervalcuoti, kad sumažėtų kampas tarp lentynų (žr. 1.6 pav. (d)) arba reikia papildomai gaminti stiebo juostas iš specialių kampuočių.

Stiebo kamienas atramos taške gali būti įtvirtintas lanksčiai (1.7 pav. (a, b)) arba standžiai (1.7 pav. (c)). Dėl paprastesnio konstravimo pamate dažniau renkamasi standų įtvirtinimą.

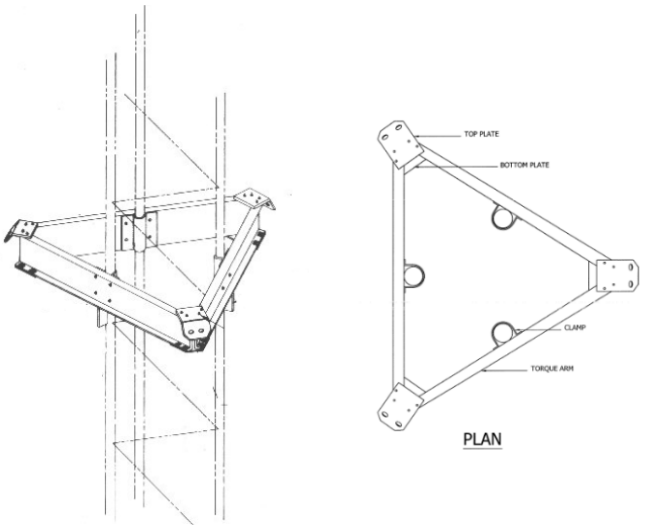


a) b) c)

1.7 pav. Stiebo kamieno įtvirtinimo pamate būdai: a), b) lankstus įtvirtinimas; c) standus įtvirtinimas (Depumpo, 1996)

Standžiai įtvirtintas stiebo kamienas turi perimti sąlygiškai didelius kamieno lenkiamuosius momentus, todėl padidėja kamieno ir atraminio pamato sąnaudos. Taip pat reikia paminėti, kad standžiai įtvirtinto kamieno įtempių pasiskirstymas apatiniuose tarpsniuose būna netolygesnis, lyginant su lanksčiai įtvirtinto kamieno įtempiais.

Lanksčiai įtvirtintų stiebų kamienų problema ta, kad kamienas laisvai gali pasisukti išilginės ašies atžvilgiu ir ji sprendžiama įrengiant kamieno pasisukimą ribojančia konstrukciją (žr. 1.8 pav.) arba specialų atraminį mazgą.



1.8 pav. Stiebo pasisukimą ribojanti konstrukcija („Rohan 65G“ sistema)

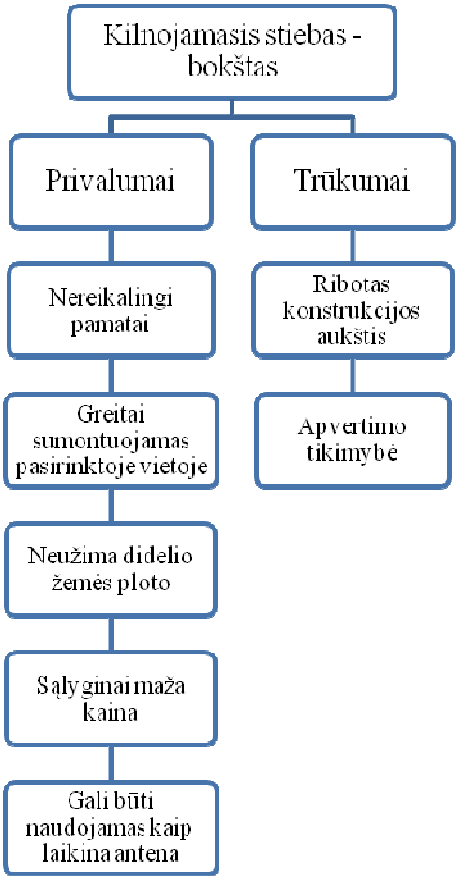
Tiek bokštinės plieninės konstrukcijos, tiek stiebai turi savų privalumų ir trūkumų. Bokšto privalumai yra tie, kad jis užima mažesnį užstatymo plotą, taip pat mažesnės

eksploatavimo išlaidos ir didesnis patikimumą, bet jo konstrukcijos surinkimas užima ilgesnį laiką, lyginant su stiebo konstrukcija ir didesnės metalo sąnaudos.

Stiebo konstrukcijos privalumai yra tie, kad trumpesnis montavimo laikas ir mažesnės medžiagų sąnaudos, bet mažesnis patikimumas ir didesnės eksploatavimo išlaidos. Lyginant ekonominiu požiūriu didėjant telekomunikacinio statinio aukščiui pigesnė tampa stiebo konstrukcija.

1.3. Kilnojamųjų stiebų - bokštų konstrukcijų apžvalga

Kadangi įprastos stiebų ir bokštų konstrukcijos be privalumų turi ir trūkumų, tokių kaip: didelis užstatymo plotas, didelės metalo sąnaudos, ilgas montavimo laikas, didesnės eksploatavimo išlaidos, imta plačiai galvoti kaip užtikrinti mobiliojo ryšio kokybę tankiai apgyvendintose vietovėse, kur sudėtinga rasti didelį žemės sklypą, kaip greitai sumontuoti konstrukciją, kaip sumažinti pačio statinio kaina. Vienas iš šių problemų sprendimo būdų yra kilnojamasis stiebas – bokštas, kuris apibrėžiamas kaip mobilus aukštasis statinys, kuriam nereikalingi pamatai. Galima išskirti šiuos kilnojamojo stiebo – bokšto privalumus ir trūkumus (1.9 pav.).



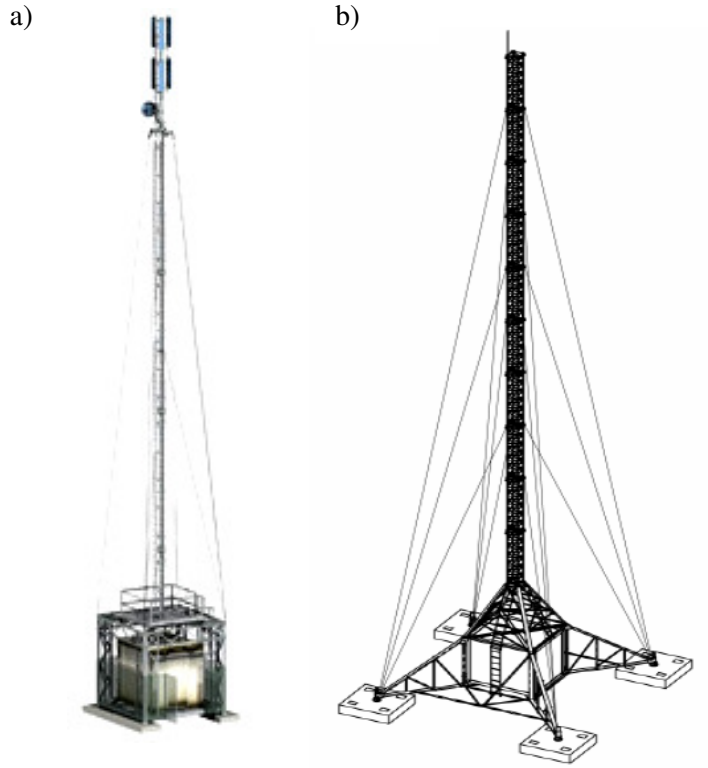
1.9 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto privalumai ir trūkumai

Tokio tipo stiebus – bokštus galima suskirstyti į dvi klases pagal požymius. Viena jų pagal transportavimą ir montavimą, kita pagal stiebo – bokšto konstrukciją.

1.3.1. Kilnojamojo stiebo − bokšto klasifikacija pagal transportavimą ir konstrukcijos montavimą

1.3.1.1. Iš atskirų sekcijų surenkami kilnojamieji stiebai − bokštai

Tokios konstrukcijos stiebus − bokštus galima sumontuoti itin greitai, nes į statybvietę jie atvežami jau surinkti į atskiras sekcijas, kurios, uždėjus viena ant kitos, sujungiamos flanšinėmis jungtimis ir nėra reikalingi papildomi inžineriniai darbai montavimo vietoje. Statinio stabilumas užtikrinamas konstrukcijos apačioje pastatant serverio stotelę (žr. 1.10 pav. (a)) arba projektuojant numatant papildomas atramas išdėstytas statinio apačioje (žr. 1.10 pav. (b)). Tokio tipo kilnojamieji stiebai − bokštai statomi ant gelžbetoninių plokščių, kurios parinktos taip, kad, kartu su visu konstrukcijos svoriu, užtikrintu jog statinys neapvirs.



1.10 pav. Iš atskirų sekcijų surenkami kilnojamieji stiebai − bokštai: a) stabilumas užtikrinamas pastatant serverio stotelę („KICO“ sistema, „Calvazara“); b) stabilumas užtikrinamas papildomomis atramomis („SMU“ sistema, „Belmast“)

1.3.1.2. Kilnojamieji stiebai − bokštai sumontuoti ant ratų

Šio tipo kilnojamasis stiebas − bokštas sumontuotas kaip priekaba, kurią galima prikabinti prie sunkvežimio (žr. 1.11 pav.). Dėl tos priežasties jis yra ypač patogus kai reikia trumpalaikio telekomunikacinio ryšio palaikymo prekybos mugėse, sporto renginiuose ir koncertuose, ekstremaliose situacijose. Taip pat tokio tipo kilnojamojo stiebo − bokšto konstrukcija dažnai naudojama kaip laikinas šviestuvas.

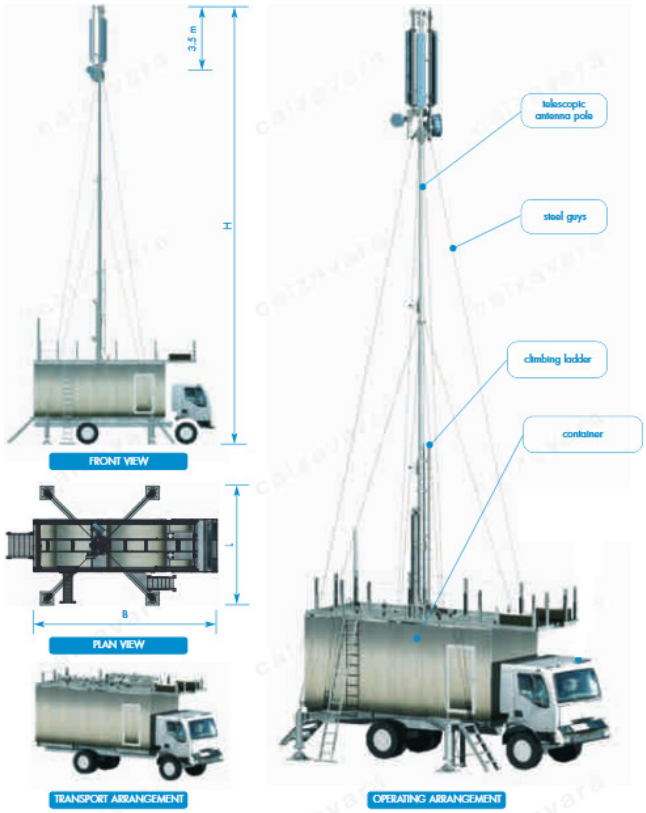
1.11 pav. Kilnojamieji stiebai – bokštai, sumontuoti ant ratų kaip priekaba („MFTR“ sistema, „Calvazara“)

Toks kilnojamasis stiebas − bokštas sudarytas iš kamieno, pritvirtinto prie pagrindinio rėmo, kuris sudarytas iš keleto tarpusavyje flanšinėmis jungtimis sujungtų sekcijų. Prie flanšinių konstrukcijos kamieno jungčių jungiamos atotampos, kurios pritvirtintos prie papildomų stiebo – bokšto atramų. Atramos, kartu su ant priekabos sumontuojama serverio stotele, reikalingos norint užtikrinti statinio stabilumą. Taip pat montavimo vietoje nėra reikalingi jokie papildomi inžineriniai darbai, nes tokio tipo stiebas − bokštas yra montuojamas kaip priekaba ir gali būti tempiamas įprastu keliu, nes atitinka visus priekaboms numatytus technikinius reikalavimus.

1.3.1.3. Kilnojamieji stiebai − bokštai įmontuoti sunkvežimyje

Kilnojamieji stiebai − bokštai įmontuoti sunkvežimyje dažniausiai naudojami kai reikia itin laikino telekomunikacinio ryšio ar šviesos užtikrinimo. Jų pastatymas ir sumontavimas užima mažiau nei tris valandas, todėl jie tinkamiausi laikinuose žmonių

susibūrimuose, atsitikus nelaimėms. Tokio tipo kilnojamasi stiebas – bokštas užima mažiausiai vietos ant žemės (žr. 1.12 pav.).



1.12 pav. Kilnojamieji stiebai – bokštai įmontuoti sunkvežimyje („MTTR“ sistema, „Calvazara“)

Stabilumą šiam statiniui užtikrina pats sunkvežimio svoris, kurio priekaboje yra įmontuota serverio stotelė, todėl, esant sąlyginai nedideliam stiebo – bokšto aukščiui (~20m), papildomos atramos nereikalingos. Tokio tipo kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas dažnai būna teleskopinis ir pagamintas iš aliuminio tam, kad būtų galima sumažinti konstrukcijos svorį ir tam, kad būtų patogu nugabenti konstrukciją į pasirinktą montavimo vietą.

1.3.2. Kilnojamojo stiebo – bokšto klasifikavimas pagal jo kamieno konstrukciją

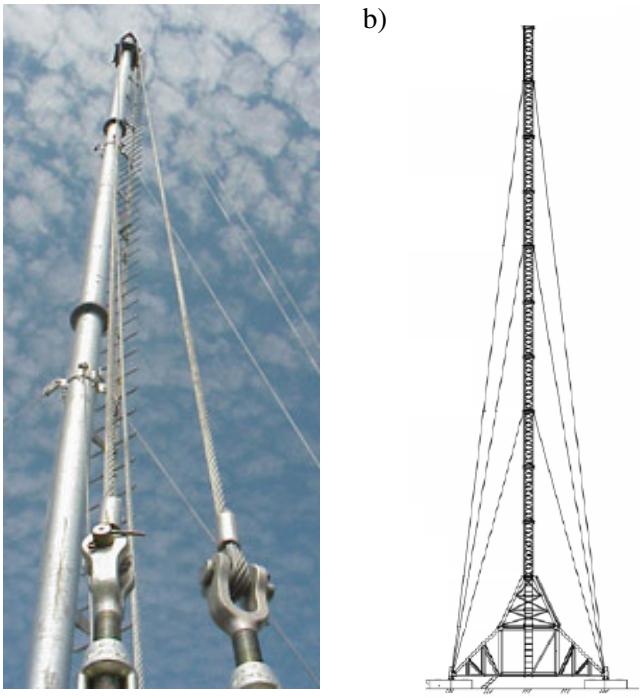
Klasifikuojant kilnojamuosius stiebus – bokštus pagal jų kamieno konstrukcijas galima išskirti tris pagrindines grupes:

1) Flanšinėmis jungtimis sujungti kilnojamojo stiebo – bokšto segmentai;
2) Iš plokščiųjų santvarų sudaryti kilnojamieji stiebai – bokštai.
3) Teleskopinio tipo kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno segmentų sujungimas.

1.3.2.1. Kilnojamieji stiebai − bokštai, kurių kamienų segmentai sujungti flanšinėmis jungtimis

Dažniausiai skirtingiems kilnojamųjų stiebų – bokštų segmentams sujungti naudojamos flanšinės jungtys. Taip pat tokio tipo jungtys yra pagrindinis būdas sujungti nekilnojamųjų stiebų ir bokštų atskirus montuojamuosius segmentus, nes tai patikima jungtis leidžianti padidinti jo aukštį ir palengvinanti montavimą. Flanšinės jungtys taikomos tiek ištisinio skerspjūvio (žr. 1.13 pav. (a)), tiek ir spragotos konstrukcijos stiebų ir bokštų kamienams sujungti (žr 1.13 pav. (b)).

a) b)



1.13 pav. Flanšinėmis jungtimis sujungtas kilnojamojo – stiebo bokšto kamienas: a) ištisinio skerspjūvio kamienas („MFUC“ sistema, „Calvazara“); b) spragotos konstrukcijos kamienas („SMU“ sistema, „Belmast“)

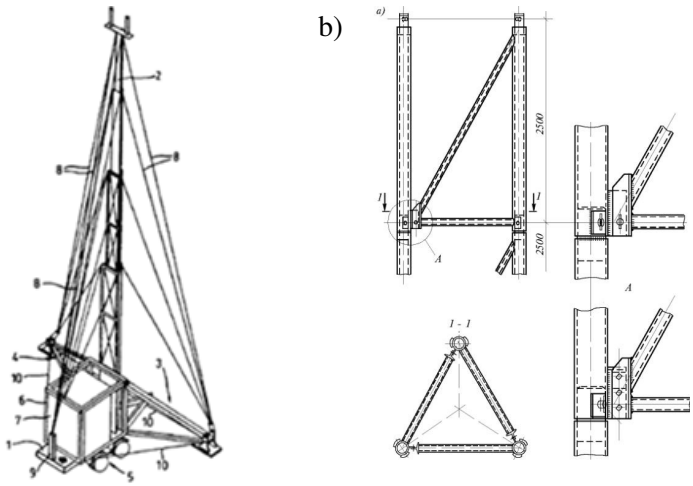
1.3.2.2. Iš plokščiųjų santvarų sudaryti kilnojamieji stiebai – bokštai

Iš plokščių santvarų sudaryto kilnojamojo stiebo − bokšto pagrindinė ypatybė ta, kad statinio sistema viena kryptimi perima veikiančias apkrovas ir poveikius kaip bokštas, o kita linkme – kaip stiebas ir taip, techniniu ir ekonominiu požiūriu, užima tarpine vietą tarp stiebų ir bokštų konstrukcijų.

Tokios mišrios sistemos taikymo privalumas – kur kas mažesnis nei stiebų užstatymo plotas. Ši stiebo − bokšto savybė gali būti tinkamai išnaudota pailguose „rėžiniuose“ sklypuose, kurių rinkos vertė yra nedidelė. Plokščiojo stiebo − apkrovos yra

gerokai mažesnės nei tipinio bokšto. Tokią konstrukcinę sistemą lengviau pagaminti, gabenti ir sumontuoti. Pagrindinis tokios konstrukcinės sistemos sandaros trūkumas – ganėtinai didelis bokšto santvaros juostų skerspjūvio aukštis bei plotas. Toks rezultatas yra nulemtas santykinai didelio juostos lenkiamojo momento, veikiančio atotampų plokštumoje, ir juostos skaičiuojamojo ilgio iš santvaros plokštumos reikšmių.

a) b)

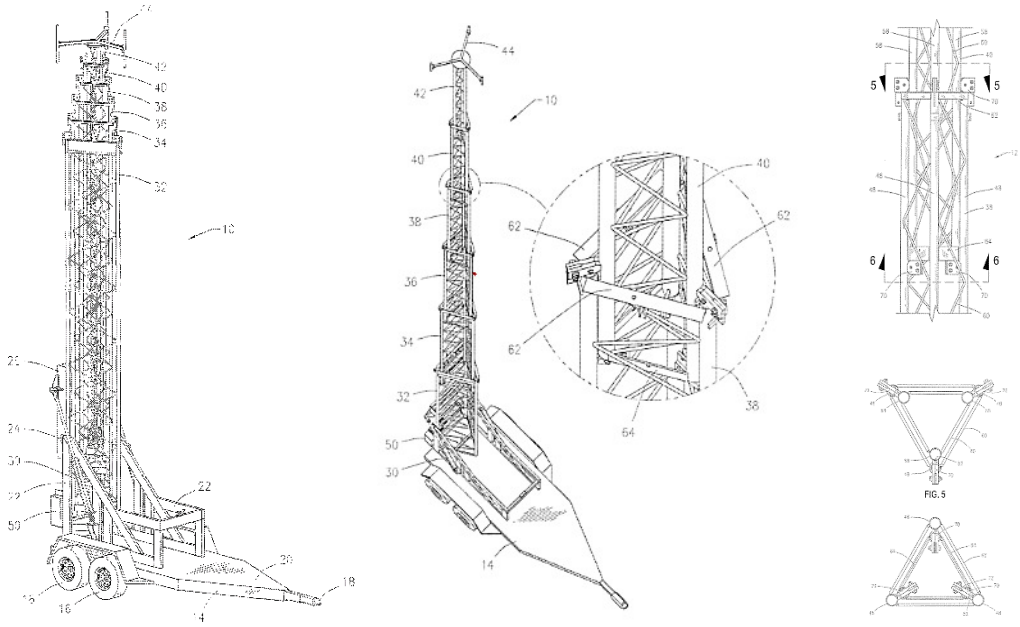


1.14 pav. Plokščio kilnojamojo stiebo – bokšto schema: a) kilnojamojo stiebo – bokšto, kurio kamienas yra sudarytas iš plokščių santvarų, konstrukcijos schema (GB 2 343 903 A); b) kamieno, sudaryto iš plokščių santvarų konstrukcijos mazgai

Kaip ir įprastų stiebų ir bokštų, taip ir kilnojamųjų konstrukcijoms galima panaudoti plokščias santvaras. Dažnai tokių statinių kamieno konstrukcija yra teleskopinė. Taip pat kamienas gali būti sudarytas ne tik iš vienos plokščios santvaros (žr. 1.14 pav. (a)) (patento numeris GB 2 343 903 A), bet ir trikampis arba keturkampis, sudaryti iš trijų arba keturių plokščių santvarų (žr. 1.14 pav. (b)).

1.3.2.3. Teleskopiniai kilnojamieji stiebai – bokštai

Teleskopinio tipo kilnojamųjų stiebų – bokštų kamieno konstrukcija savo galimą aukštį pasiekia ištraukiant suprojektuotas sekcijas viena iš kitos ir jas užfiksuojant. Tokio tipo kamieno konstrukcija dažniausiai naudojama, kai kilnojamasis stiebas – bokštas yra sumontuotas ant priekabos arba ant sunkvežimio, nes tai itin palengvina transportavimą. Taip pat tokio tipo kamieno struktūra labai populiari, kai kilnojamasis stiebas – bokštas reikalingais trumpai, pavyzdžiui, laikinose žmonių susibūrimo vietose tokiose kaip: mugės, sporto varžybos, koncertai ir dažniau naudojamas ne telekomunikacinio ryšio užtikrinimui, o kaip apšvietimo ar garsiakalbio stulpas.



1.15 pav. Teleskopinio kilnojamojo – stiebo bokšto konstrukcija (US 7574832 B1)

Tokios struktūros, kaip pavaizduota 1.16 paveiksle, teleskopiniai kilnojamieji stiebai – bokštai yra patentuoti (patento numeris US 7574832 B1). Konstrukcijos autorius Phillipas L. Liebermanas. Tokio tipo kilnojamojo - stiebo bokšto esmė ta, kad konstrukcija sudaryta iš viena už kitą siauresnių montuojamųjų elementų, kurių plotis skiriasi tiek kiek reikalinga palikti vietos sekcijų bėgiams, kurie yra pritvirtinti vidinėje kamieno rėmo pusėje, o visa stiebo bazė yra sumontuota ant ratų, todėl yra lengvai transportuojama.

Šiame darbe pasirinktas nagrinėti kilnojamasi stiebas − bokštas yra naujo tipo. Jis išsiskiriantis tuo, kad jo kamienas sudarytas iš vientiso skerspjūvio apvalaus vamzdžio. Atotampos prie kamieno pritvirtinamos per papildomas žiedų konstrukcijas, o visa kilnojamojo stiebo − bokšto bazė yra tvirtinamas prie metalinės arba gelžbetoninės plokštės. Tokio tipo kilnojamojo stiebo − bokšto konstrukciją verta nagrinėti dėl galimybės užstatyti itin mažą žemės plotą, kas yra svarbu tankiai apgyvendintose teritorijose, nesudėtingos priežiūros, greito montavimo ir mažesnio sunaudojamo medžiagų kiekio. Visi šie dalykai turi įtakos statinio kainai kas yra svarbūs ekonominiu požiūriu.

2. KOMPONUOJAMŲJŲ PARAMETRŲ ĮTAKA STIEBO – BOKŠTO ĮTEMPIŲ IR DEFORMACIJŲ BŪVIUI

Pagrindinė priežastis tirti ir nagrinėti pasirinkto tipo stiebo − bokšto konstrukciją yra ta, kad kilnojamojo tipo telekomunikaciniai statiniai yra ypač reikalingi tankiai apstatytose vietovėse. Jie naudingi tuo, kad užima sąlyginai mažą žemės sklypą ir jų konstrukcija ir montavimas dažnai būna paprastesnis.

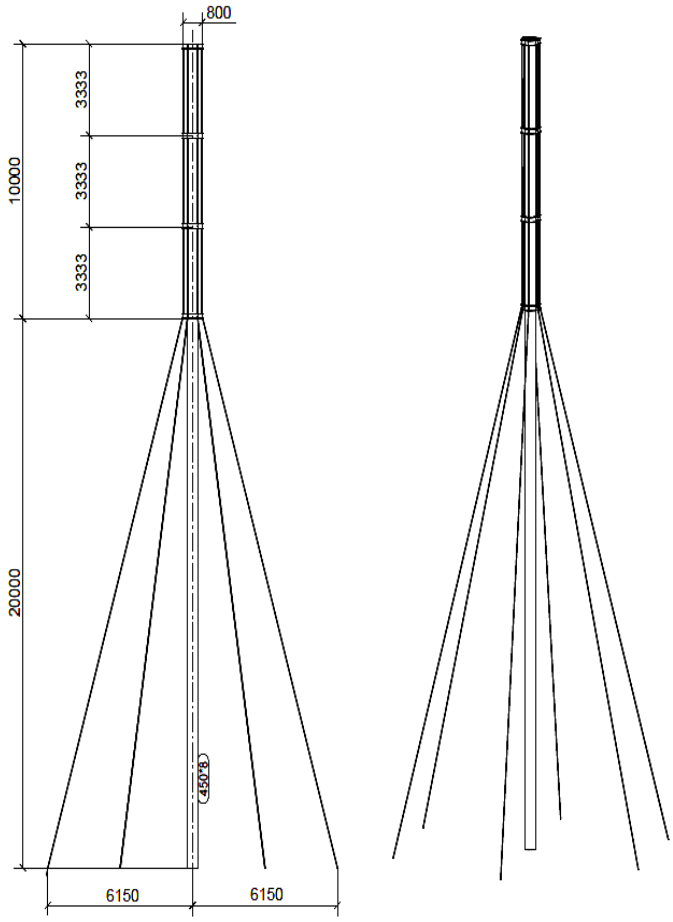
Nagrinėjimui pasirinktas kilnojamasi stiebas − bokštas (žr. 2.1 pav.) yra įdomus tuo, kad jo kamienas yra sudarytas iš vientiso skerspjūvio vamzdžio, kuris yra prilaikomas atotampomis, kurios jungiamos prie kamieno per specialius žiedus. Tokio tipo konstrukciją galima greičiau sumontuoti, lyginant su kitomis spragotomis kilnojamųjų statinių konstrukcijomis. Taip pat sutaupoma medžiagų ir sumažinama statinio kaina, todėl verta nagrinėti tokio tipo kilnojamojo stiebo − bokšto elgseną keičiant jo komponuojamuosius parametrus.

Tiriamojoje baigiamojo magistro darbo dalyje bus nagrinėjamas kilnojamasis stiebas - bokštas keičiant šiuos komponuojamuosius parametrus:

1. Kampas tarp konstrukcijos kamieno ir atotampų įtirtinimo mazgų. Nagrinėjami du variantai: kai kamienas įtvirtintas standžiai ir kai kamienas įtvirtintas lanksčiai.
2. Atstumas tarp žiedų, prie kurių tvirtinamos atotampos tiesiojoje kilnojamojo stiebo - bokšto dalyje. Nagrinėjami du variantai: kai kamienas įtvirtintas standžiai ir kai kamienas įtvirtintas lanksčiai.
3. Žiedų, prie kurių tvirtinamos atotampos tiesiojoje kilnojamojo bokšto - stiebo dalyje, skersmuo. Nagrinėjami du variantai: kai kamienas įtvirtintas standžiai ir kai kamienas įtvirtintas lanksčiai.
4. Didinant kamieno skerspjūvį. Nagrinėjami du variantai: kai kamienas įtvirtintas standžiai ir kai kamienas įtvirtintas lanksčiai.
5. Didinant atotampų išankstinį įtempimą. Nagrinėjamas variantas, kai kamienas įtvirtintas standžiai.

Pasirenkama, kad nagrinėjama kilnojamojo bokšto - stiebo pirminė konstrukcija yra 30 m aukščio, ji papildomai suskaidomas į dvi sekcijas. Pirmoji sekcija yra 20 m aukščio, siaurėjanti, o antroji - pastovaus pločio, kuri dar papildomai yra sudaloma į 3 mažesnes sekcijas po 3,33 m. Sekcijų ir visos kilnojamojo stiebo - bokšto konstrukcijos aukštis yra

vienas iš nekeičiamų konstrukcijos komponuojamųjų parametrų. Atstumas nuo kilnojamojo stiebo - bokšto kamieno įtvirtinimo taško iki atotampų įtirtinimo yra 6,15 m. Pirminis kamieno skerspjūvis - apvalaus profilio vamzdis, kurio skersmuo 450 mm, o sienelės storis 8 mm. Priimamas atotampų skerspjūvio plotas 1 cm^2, išankstini jų įtempimas 200 MPa. Žiedams, prie kurių yra tvirtinamos atotampos parenkami dvitėjai profiliuočiai - IPE180. Antenos plotas yra 1,1 m^2. Konstrukcijai naudojamas S335 klasės plienas.

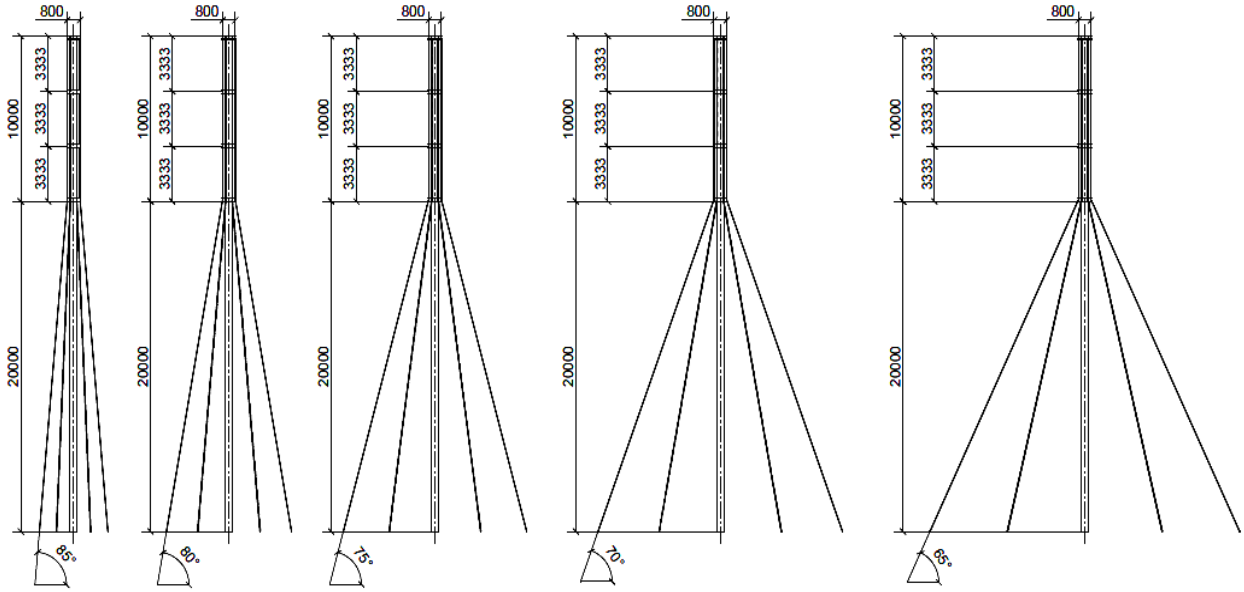


2.1 pav. Pirminė kilnojamojo stiebo - bokšto konstrukcija

2.1. Kampo tarp stiebo – bokšto kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų mažinimo įtaka įtempių ir deformacijų būviui

Pirmasis komponuojamasis kilnojamojo stiebo - bokšto parametras, pagal kurį toliau bus nagrinėjami jo įtempiai ir deformacijos, yra kampas tarp kilnojamojo stiebo - bokšto kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų (žr. 2.2 pav.). Šis parametras yra mažinamas kas 5° laipsnius, nuo 85° iki 65°, ir stebima kokią įtaką tai turi kilnojamojo stiebo - bokšto kamieno lenkimo momentams, viršūnės poslinkiui ir posūkio kampui.

Nagrinėjami kamieną veikiantys lenkimo momentai, konstrukcijos viršūnės poslinkio ir posūkio kampo kitimas. Tiriami du skirtingi stiebo – bokšto kamieno įtvirtinimo variantai: pirmas – kamienas įtv□rt□nt□s st□ndž□□□; □ntr□s – kamienas įtvirtintas lanksčiai.

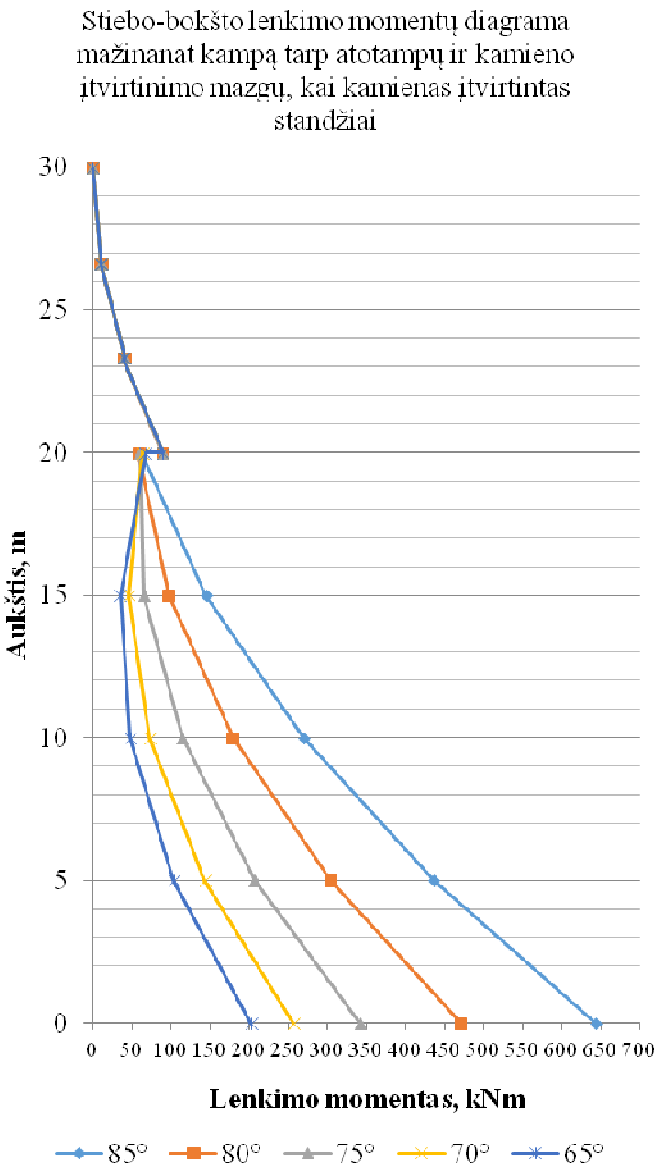


2.2 pav. Kampo tarp kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų mažinimo schema

Pirmasis tiriamas konstrukcijos variantas – kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas standžiai.

Atlikus tyrimą, kai stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas standžiai, matyti, kad kampo tarp konstrukcijos kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų keitimas turi didelę įtaką stiebo – bokšto įtempiams (žr. 2.3 pav.). Lyginant lenkimo momentų, ties kamieno įtvirtinimo mazgu, rezultatus matyti, kad susidarančių lenkimo momentų skirtumas tarp konstrukcijos, kurioje kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų yra 85° ir konstrukcijos, kurioje tas pats kampas yra 65°, yra daugiau nei 3 kartai. Todėl reiktų laikytis rekomendacijos, kad kampas tarp tokio tipo stiebo – bokšto kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, turėtų būti mažas tam, kad sumažinus konstrukcijos kamiene veikiančias įrąžas, būtų galima sumažinti kamieno skerspjūvį. Tai palengvintų pačią kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukciją ir sumažinantų jos kainą.

Pateiktoje diagramoje (žr. 2.3 pav.) matyti, kad toje vietoje, kur kilnojamame stiebe – bokšte yra pritvirtinti žiedai, atsiranda papildomas lenkimo momentų šuolis. Taip atsitinka dėl to, kad per žiedus kamienui yra perduodamos įrąžos atsiradusios atotampose.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

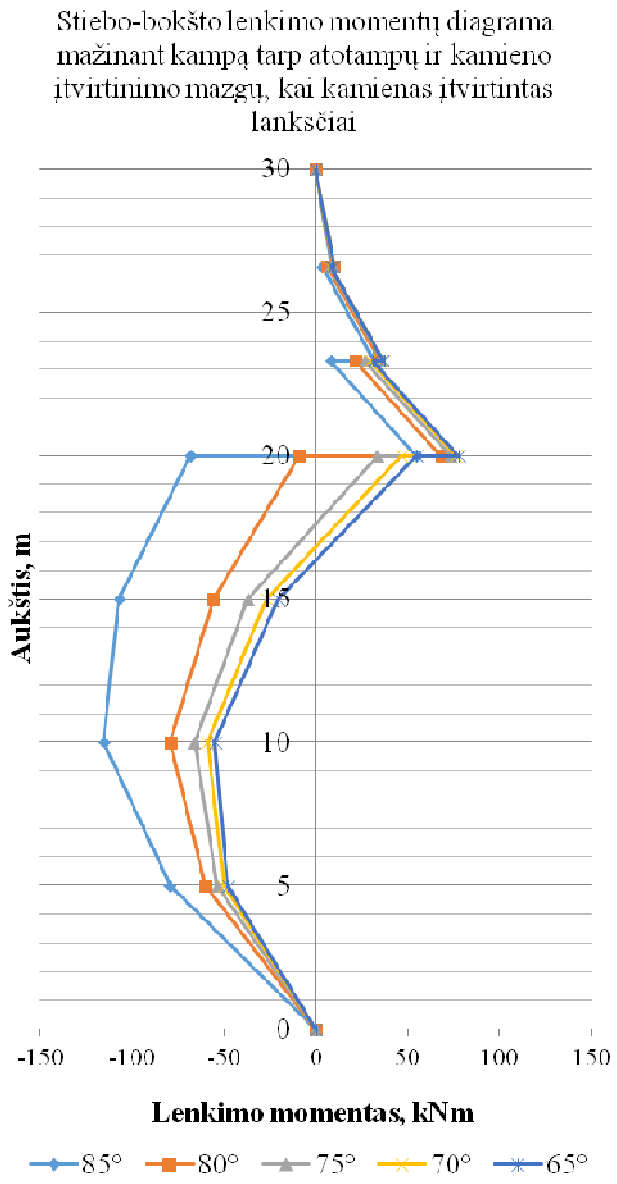
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Žiedų skersmuo - 800 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.3 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai mažinamas kampas tarp atotampų ir kamieno įtvirtinimo mazgų, kamienas įtvirtintas standžiai

Antrasis variantas – stiebo bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai.

Nagrinėjant atliktą tyrimą, kai stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai, matyti ta pati tendencija, t.y. kuo didesnis kampas tarp konstrukcijos kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, tuo didesni kilnojamojo stiebo – bokšto kamiene susidarantys įtempiai (žr.2.4 pav.). Galima ta pati rekomendacija – projektuojant tokio tipo stiebo – bokšto konstrukciją vengti didelio kampo tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų.

Skirtingai nuo stiebo – bokšto konstrukcijos, kurioje kamienas įtvirtintas standžiai, šioje konstrukcijoje išauga lenkimo momentų šuolis ties žiedais, prie kurių yra tvirtinamos atotampos. Kuo didesnis kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, tuo didesnis lenkimo momentų šuolis ties žiedais.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

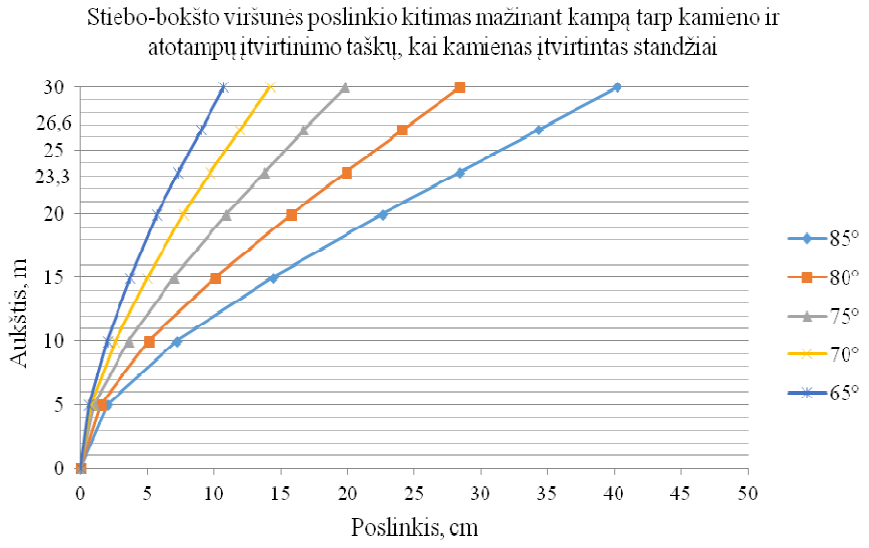
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Žiedų skersmuo - 800 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.4 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai mažinamas kampas tarp atotampų ir kamieno įtvirtinimo mazgų, kamienas įtvirtintas lanksčiai

Projektuojant stiebus – bokštus ar kitus telekomunikacinius statinius, svarbu patikrinti viršūnės deformacijas, nes pagrindinė tokių statinių paskirtis yra užtikrinti mobiliojo ryšio kokybę. Esant dideliems stiebo – bokšto viršūnės poslinkiams ar neleistinai dideliam posūkio kampui ši savybė nėra užtikrinama, todėl tikslinga tirti ir palyginti kaip keičiasi viršūnės deformacijos toko tipo kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijoje.

Pirmasis nagrinėjamas viršūnės poslinkio variantas, kai kilnojamojo stiebo - bokšto kamienas įtvirtintas standžiai.

Diagramoje pavaizduoti (žr. 2.5 pav.) tyrimo rezultatai patvirtinta jau anksčiau minėtą rekomendaciją, kad tokio tipo kilnojamasis stiebas – bokštas turėtų išlaikyti kuo mažesnį kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų. Pagal standarte (STR 2.05.04:2003) nustatytą bokšto standumo sąlygą, kai viršūnės poslinkis turi būti ne didesnis nei 0,01 bokšto aukščio, tyriama stiebo – bokšto konstrukcija neatitinka, kai kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų yra 85°, kalbant apie standžiai įtvirtintą kamieną.

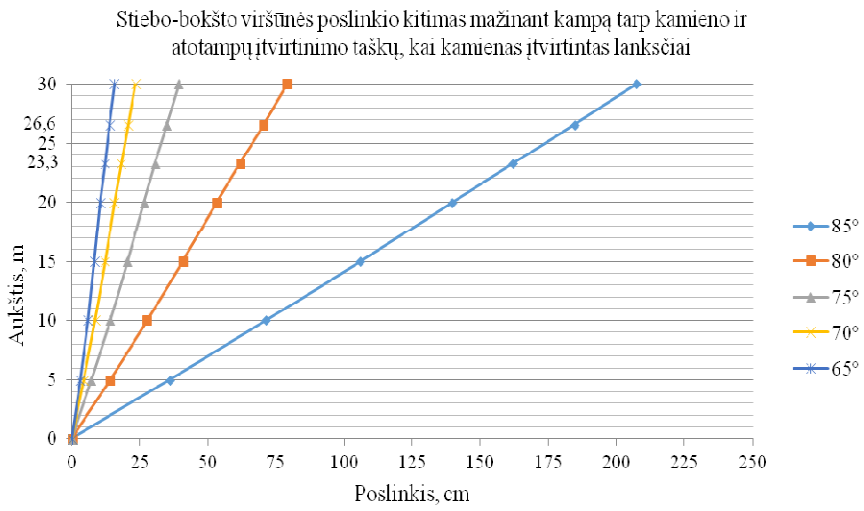


Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Žiedų skersmuo - 800 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.5 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Antrasis nagrinėjamas variantas, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai.



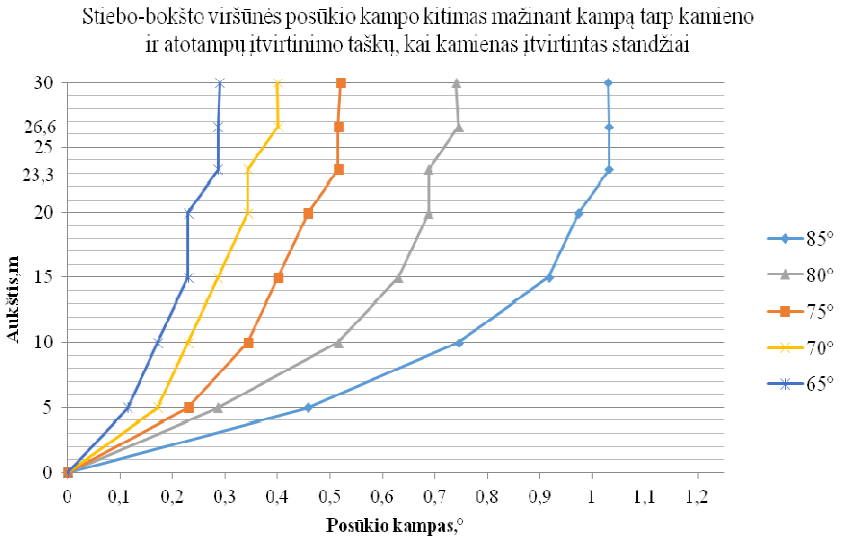
Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Žiedų skersmuo - 800 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.6 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Nagrinėjant tyrimo rezultatus, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai, matyti, kad taip pat svarbu išlaikyti kuo mažesnį kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų (žr. 2.6 pav.). Lyginant konkrečius rezultatus pastebėta, kad skirtumas tarp viršūnės poslinkio, kai kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų yra 85° ir, kai kampas – 65°, yra didesnis nei 13 kartų. Tikrinant stiebo – bokšto viršūnės poslinkio reikšmes pagal standarte (STR 2.05.04:2003) nurodytą bokšto standumo sąlygą matyti, kad esant lanksčiam kamieno įtvirtinimui, galimi kampai tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų yra tik 70° ir 65°. Vis dėlto pasirinkus naudoti tokio tipo kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukciją, su didesniu kampu tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, reiktų imtis papildomų priemonių, kad būtų galima sumažinti viršūnės deformacijas.

Kitas itin svarbus parametras reikalingas tam, kad būtų galima užtikrinti mobiliojo ryšio kokybę, yra telekomunikacinio statinio viršūnės posūkio kampas. Pimasis pagal šį parametrą nagrinėjamas kilnojamasis stiebas – bokštas yra įtvirtintas standžiai.



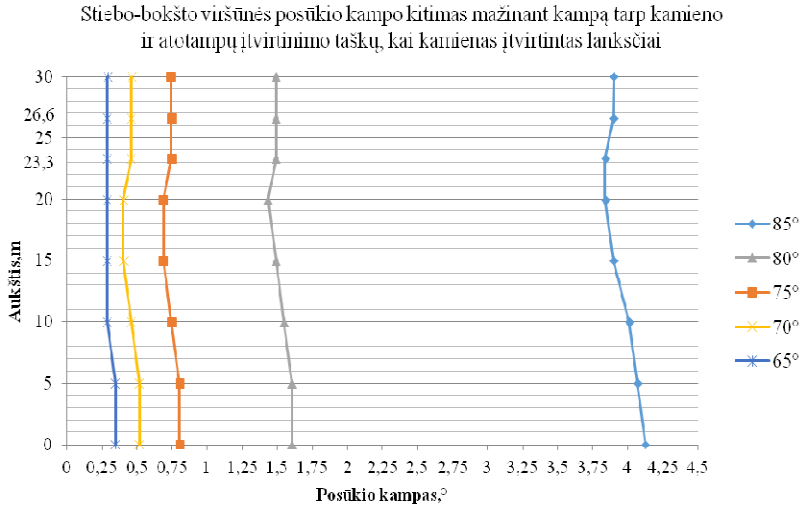
Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Žiedų skersmuo - 800 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.7 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Atlikus tyrimą matyti, kad galioja ta pati rekomendacija, t.y. išlaikyti mažą kampą tarp tokio tipo kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų (žr. 2.7 pav.). Palyginus viršūnės posukio kampo rezultatus, gautus ištyrus atskirus modelius, galima pasakyti, kad skirtumas tarp stiebo – bokšto, kurio kampas tarp kamieno ir atotmpų įtvirtinimo mazgų yra 85° ir stiebo – bokšto, kurio mynėtasis kampas – 65°, yra daugiau nei 3,5 karto ir svyruoja nuo 1,03° iki 0,29°. Taip pat matyti, kad visų standžiai įtvirtintų modelių viršūnės posūkio kampas atitinka normas ir neviršyja 3° (Smith, 2007).

Antrasis pagal šį parametrą nagrinėjamas kilnojamasis stiebas - bokštas yra įtvirtintas lanksčiai.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Žiedų skersmuo - 800 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.8 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Diagramoje pateikti (žr. 2.8 pav.) viršūnės posūkio kampo tyrimo duomenys parodo daugiau nei 13 kartų skirtumą tarp kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijos, kai kampas tarp jo kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų yra 85° ir kai minėtasis kampas yra 65°. Tai patvirtina rekomendaciją laikytis mažo kampo tarp konstrukcijos kamieno ir atotampų įtvirtinimo taškų. Pagal leistinas stiebo viršūnės posūkio kampo vertes matyti, kad 85° laipsnių kampas, tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, yra per mažas ir neleistinas.

Skyriaus apibendrinimas

Atlikus tyrimą, kai yra keičiamas kampas tarp kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno ir atotampų įtvirtinimo taškų, matyti aiški rekomendacija – šis kampas turi būti kuo mažesnis, nes tai leidžia stabilizuoti ir sumažinti veikiančias įrąžas ir deformacijas.

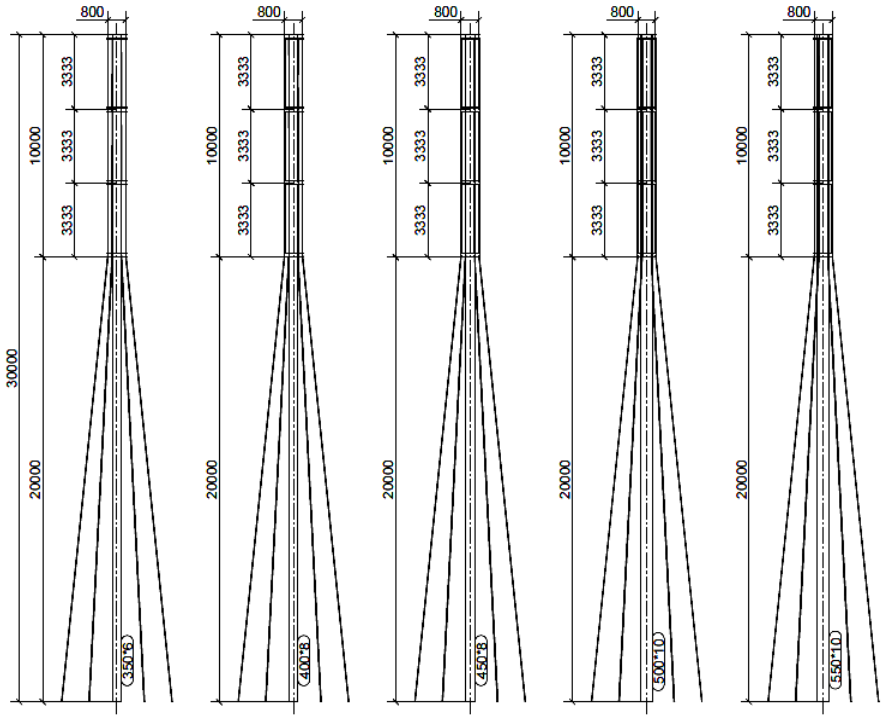
Lyginant ar geriau standžiai, ar lanksčiai įtvirtintas kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas matyti, kad lankstus kamieno įtvirtinimas nėra toks efektyvus kaip standus, žiūrint iš viršūnės deformacijos pusės. Esant lanksčiam įtvirtinimui apribojamas kampo, tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, dydis iki ne didesnio nei 70°, o tai nėra efektyvu, kai norima statyti tokio tipo konstrukcijas tankiai apstatytose gyvenvietėse.

Žiūrint iš kamiene susidarančių įrąžų pusės, standžiai įtvirtinto kamieno atraminiame taške susidaro dideli lenkimo momentai, kurie apsunkina visos konstrukcijos darbą ypač, kai kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų yra 85°. Lanksčiai įtvirtintas kamienas tokių didelių įrąžų neturi, todėl galima būtų sakyti, kad geriau lanksčiai įtvirtintas kilnojamojo – stiebo bokšto kamienas, bet tada turi būti sugalvota kaip užtikrinti, kad viršūnės deformacijos neviršytų leistinų normų ir konstrukcija liktų stabili.

2.2. Kamieno skerspjūvio didinimo įtaka stiebo – bokšto įtempiams ir deformacijoms

Antrasis komponuojamasis kilnojamojo stiebo – bokšto parametras, pagal kurį toliau bus nagrinėjami jo įtempiai ir deformacijos, yra kamieno skerspjūvio didinimas. Pasirenkami III skerspjūvio klasei priklausantys apvalūs vamzdžiai: 350x6, 400x8, 450x8, 500x10 ir 550x10 ir tiriama jų didinimo įtaka kilnojamojo stiebo – bokšto įtempiams ir deformacijoms (žr. 2.9 pav.).

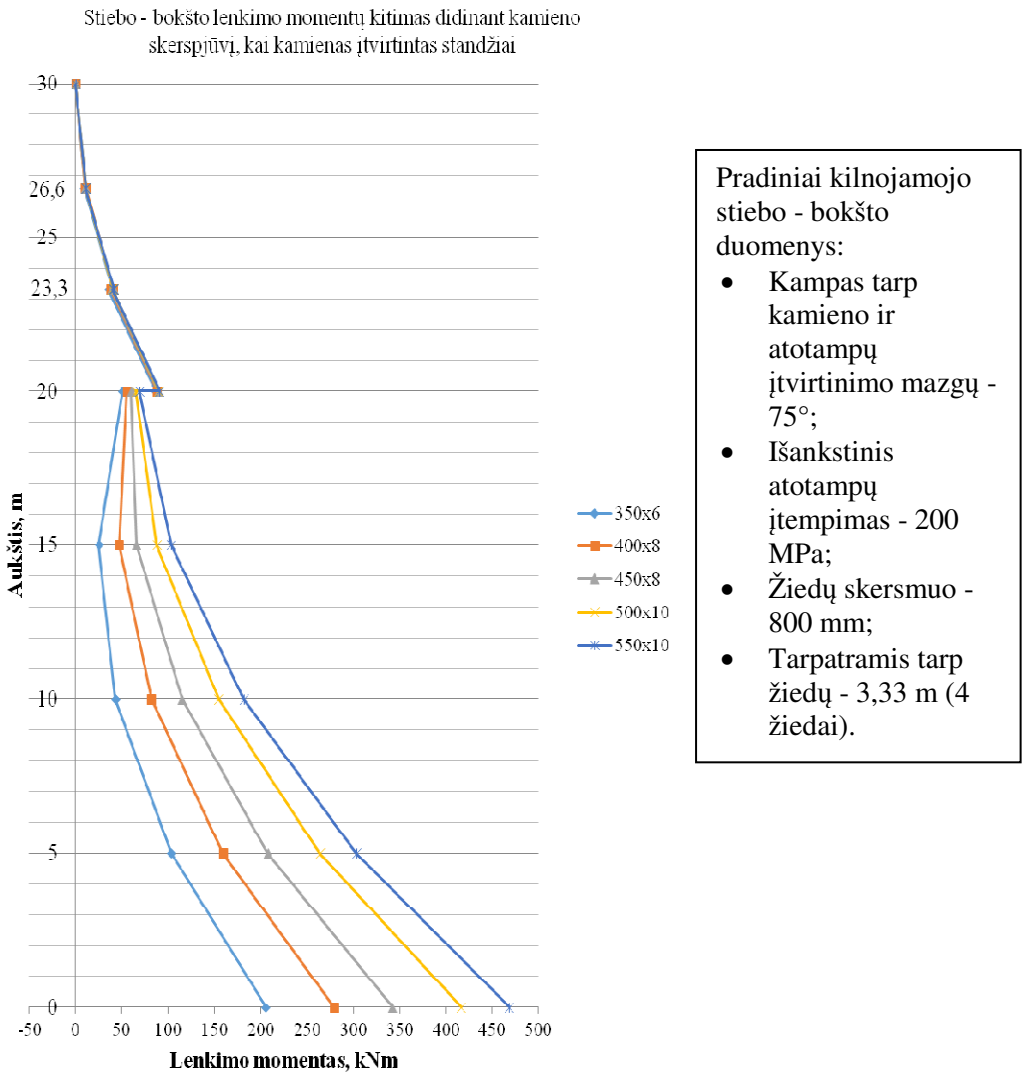
Nagrinėjami kamieną veikiantys lenkimo momentai, konstrukcijos viršūnės poslinkio ir posūkio kampo kitimas. Tiriami du skirtingi kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno įtvirtinimo variantai: pirmas – kamienas įtv□rt□nt□s st□ndž□□□; □ntr□s – kamienas įtvirtintas lanksčiai.



2.9 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno skersmens didinimo schema

Pirmasis variantas – kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas standžiai.

Atlikus kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijos tyrimą, kai kamienas įtvirtintas standžiai, matyti, kad lenkimo momentai, ties konstrukcijos kamieno atramos mazgu, išauga didinant kamieno skerspjūvį (žr. 2.10 pav.). Taip atsitinka dėl to, kad skaičiuojant įrąžas buvo įvertintas ir geometrinis netiesiškumas, t.y. įvertinta ir tai, kad veikia ne tik vėjo apkrova, bet ir konstrukcijos savasi svoris, kai prasideda kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimas dėl išorinio poveikio, o kadangi didesnis skerspjūvis yra ir sunkesnis išauga ir lenkimo momentai ties kamieno atraminiu mazgu. Skirtumas tarp lenkimo momentų, kai kamieno skerspjūvis yra mažiausias – 350x6 mm ir, kai kamieno skerspjūvis yra didžiausias – 550x10 mm, kiek daugiau nei 2 kartai ir svyruoja nuo 205,3 kNm iki 468,19 kNm.

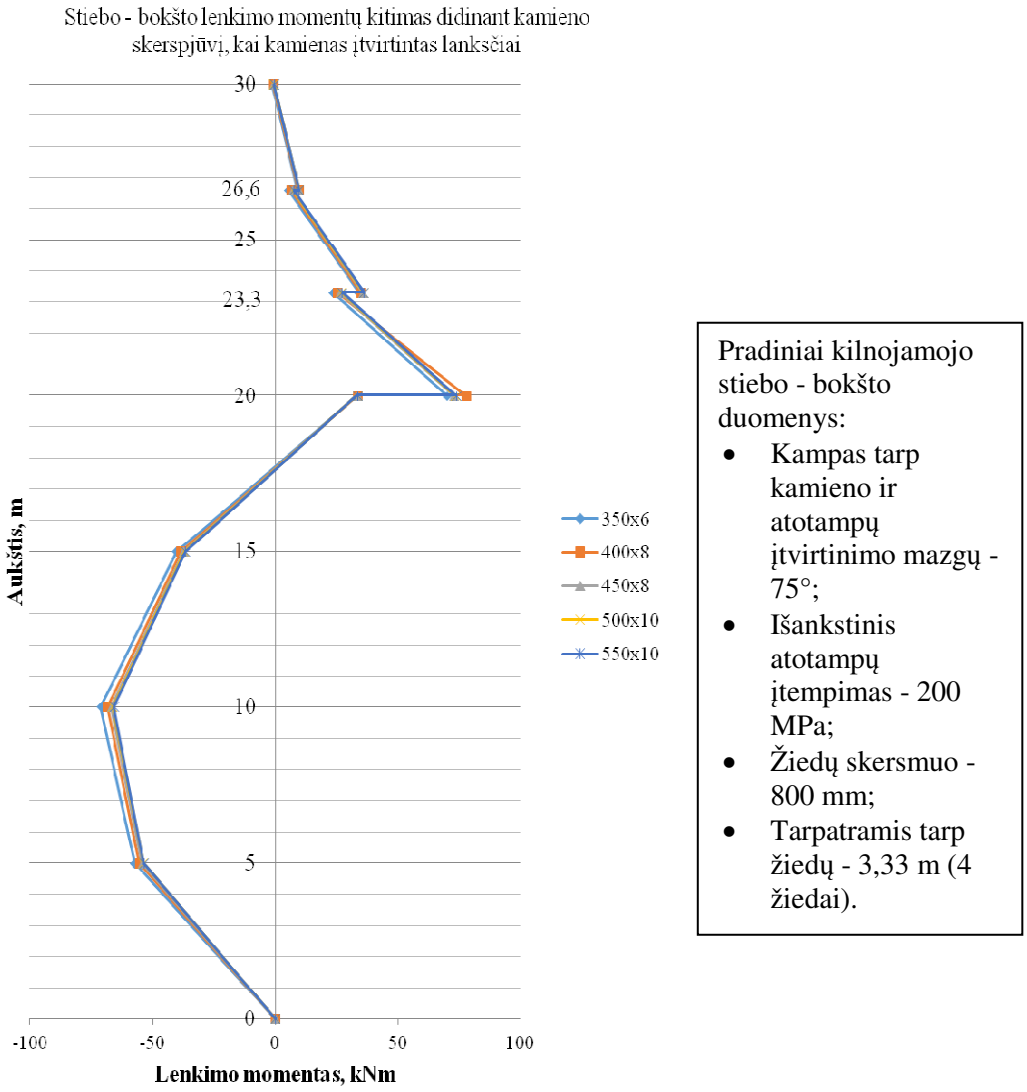


2.10 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos kamieno skerspjūvis, kamienas įtvirtintas standžiai

Esant mažesniam kamieno skerspjūviui šiek tiek padidėja lenkimo momentų šuolis ties žiedų įtvirtinimo vieta. Taip atsitinka todėl, kad padidėja atstumas nuo kamieno skerspjūvio iki žiedo, prie kurio jungiamos atotampos, krašto ir taip atsiranda didesnis petys, per kurį yra perduodamos atotampas veikiančios jėgos kilnojamojo stiebo – bokšto kamienui taip sukeldamos paildomą lenkimo momentų šuolį.

Antrasis variantas – kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai.

Šiuo atveju, kai kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijos kamienas įtvirtintas lanksčiai, skerspjūvio didinimo įtaka kamiene susidarantiems lenkimo momentams nėra didelė (žr. 2.11 pav.). Atsirandantys lenkimo momentai šiek tiek mažėja didinant kamieno skerspjūvį, bet jų skirtumas, tarp mažiausią ir didžiausią skerspjūvį turinčių modelių, svyruoja nuo -71,19 kNm iki -65,78 kNm.



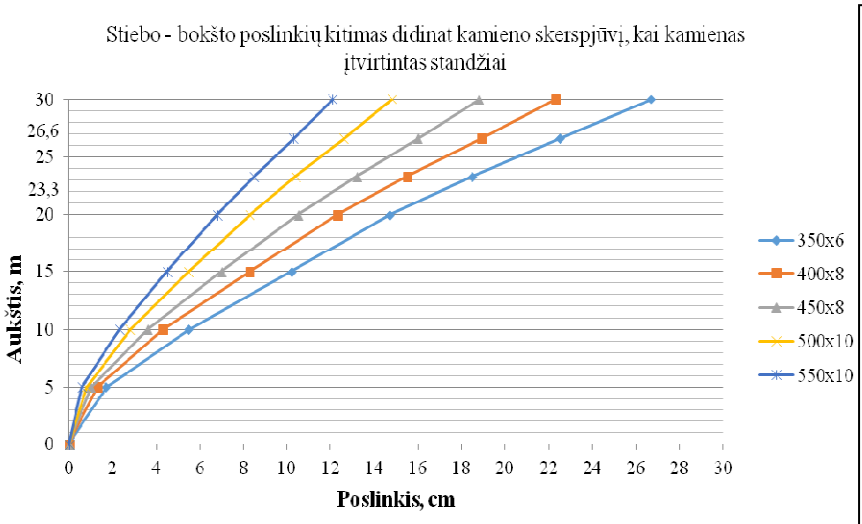
2.11 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos kamieno skerspjūvis, kamienas įtvirtintas lanksčiai

Lyginant su standžiai įtvirtintu kilnojamojo stiebo – bokšto modeliu šiuo atveju, kai jis įtvirtintas lanksčiai, galima pastebėti, kad išauga lenkimo momentų šuolis ties konstrukcijos žiedų įtvirtinimo vietomis, dėl jau minėtos priežasties.

Projektuojant kilnojamuosius stiebus – bokštus ar bet kokius kitus telekomunikacinius statinius, svarbu patikrinti viršūnės deformacijas, nes pagrindinė tokių statinių paskirtis yra užtikrinti mobiliojo ryšio kokybę. Esant dideliems stiebo – bokšto viršūnės poslinkiams ar neleistinai dideliam posūkio kampui ši savybė nėra užtikrinama, todėl tikslinga tirti ir palyginti kaip keičiasi viršūnės deformacijos toko tipo stiebo – bokšto konstrukcijoje.

Pirmasis nagrinėjamas variantas, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas standžiai.

Diagramoje pateikti (žr. 2.12 pav.) tyrimo rezultatai, kai kilnojamasis stiebas – bokštas įtvirtintas standžiai, parodo, kad viršūnės poslinkis mažėja didinant konstrukcijos kamieno skerspjūvį. Pagal standarte (STR 2.05.04:2003) nustatytą bokšto standumo sąlygą, kai viršūnės poslinkis turi būti ne didesnis nei 0,01 bokšto aukščio, tiriami kilnojamojo stiebo – bokšto modeliai, kai didinamas kamieno skerspjūvis, neviršija leistynų nuokrypių ir svyruoja nuo 12,1 cm iki 26,7 cm.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

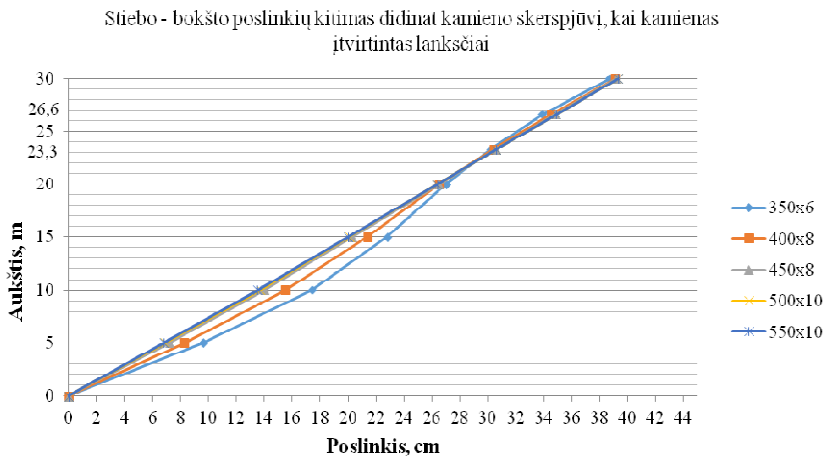
- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Žiedų skersmuo - 800 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.12 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Antrasis nagrinėjamas variantas, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai.

Nagrinėjant tyrimo rezultatus, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai, matyti, kad kamieno skerspjūvio didinimas didelės įtakos viršūnės poslinkiui neturi

(že. 2.13 pav.). Viršūnes poslinkio reikšmės beveik vienodos nepriklausomai nuo to ar didesnis, ar mažesnis kamieno skerspjūvis ir svyruoja nuo 38,7 cm, kai kamieno skerspjūvis 350x6, iki 39,3 cm, kai kamieno skerspjūvis yra 550x10. Tikrinant stiebo – bokšto viršūnės poslinkio reikšmes pagal standarte (STR 2.05.04:2003) nurodytą bokšto standumo sąlygą matyti, kad nei vienas kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijos modelis neatitinka leistinos reikšmės, kuri šiuo atveju lygi 30 cm.

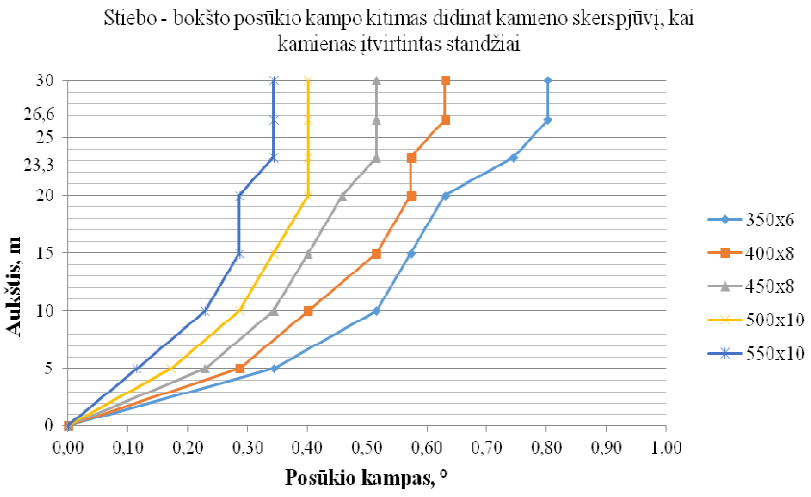


Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Žiedų skersmuo - 800 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.13 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Kitas itin svarbus parametras reikalingas tam, kad būtų galima užtikrinti mobiliojo ryšio kokybę, yra telekomunikacinio statinio viršūnės posūkio kampas. Pimasis pagal šį parametrą nagrinėjamas kilnojamasis stiebas – bokštas yra įtvirtintas standžiai.



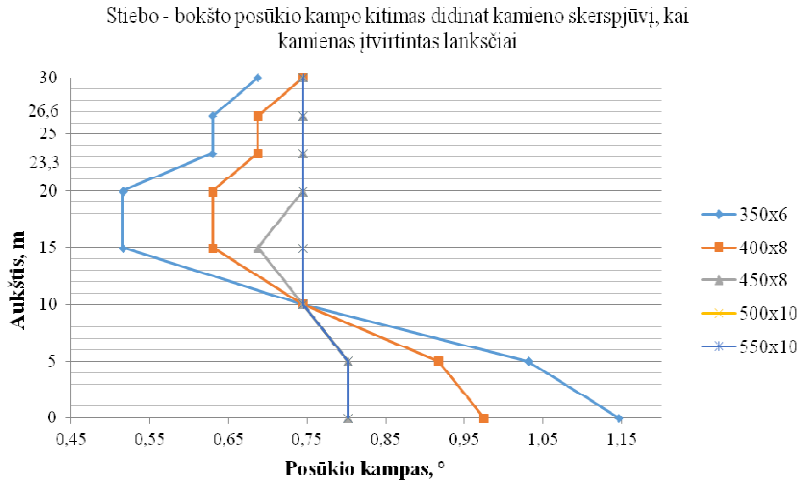
Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Žiedų skersmuo - 800 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.14 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Atlikus viršūnė posūkio kampo tyrimą, kai didinamas kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno skerspjūvis ir jis įtvirtintas standžiai, matyti, kad šio komponuojamojo parametro keitimas turi įtakos viršūnės posūkio kampui (žr. 2.14 pav.). Kuo didesnis kamieno skerspjūvis, tuo mažesnis viršūnės posūkio kampas ir šis procesas paaiškinamas taip: esant didesniam, t.y. ir sunkesniam, kamieno skerspjūviui visas kilnojamasis stiebas – bokštas yra stabilesnis ir pastovesnis, todėl išorės apkrovoms sunkiau deformuoti konstrukcijos viršūnę. Taip pat matyti, kad visų standžiai įtvirtintų modelių viršūnės posūkio kampas atitinka normas ir neviršyja 3° (Smith, 2007).

Antrasis pagal šį parametrą nagrinėjamas kilnojamasis stiebas – bokštas yra įtvirtintas lanksčiai.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Žiedų skersmuo - 800 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.15 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Diagramoje pavaizduoti (žr. 2.15 pav.) viršūnės posūkio kampo tyrimo rezultatai parodo, kad viršūnės posūkio kampo kitimui, kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno skerspjūvio didinimas, kai jis įtvirtintas lanksčiai, didelės reikšmės neturi. Pastebima, kad viršūnės posūkio kampas šiek tiek padidėja padidinus kamieno skerspjūvį, bet kaip matoma 2.15 paveiksle, didesnio skerspjūvio kamienas yra stabilesnis ir sukasi mažiau, todėl šiuo atveju geriau rinktis didesnio skerspjūvio vamzdžius t.y.: 500x10 mm arba 550x10mm. Taip pat matyti, kad visų lanksčiai įtvirtintų modelių viršūnės posūkio kampas atitinka normas ir neviršyja 3° (Smith, 2007).

Skyriaus apibendrinimas

Atlikus tyrimą, kai yra didinamas kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno skerspjūvis, matyti, kad šio komponuojamojo parametro keitimas turi didesnę įtaką standžiai įtvirtintai konstrukcijai.

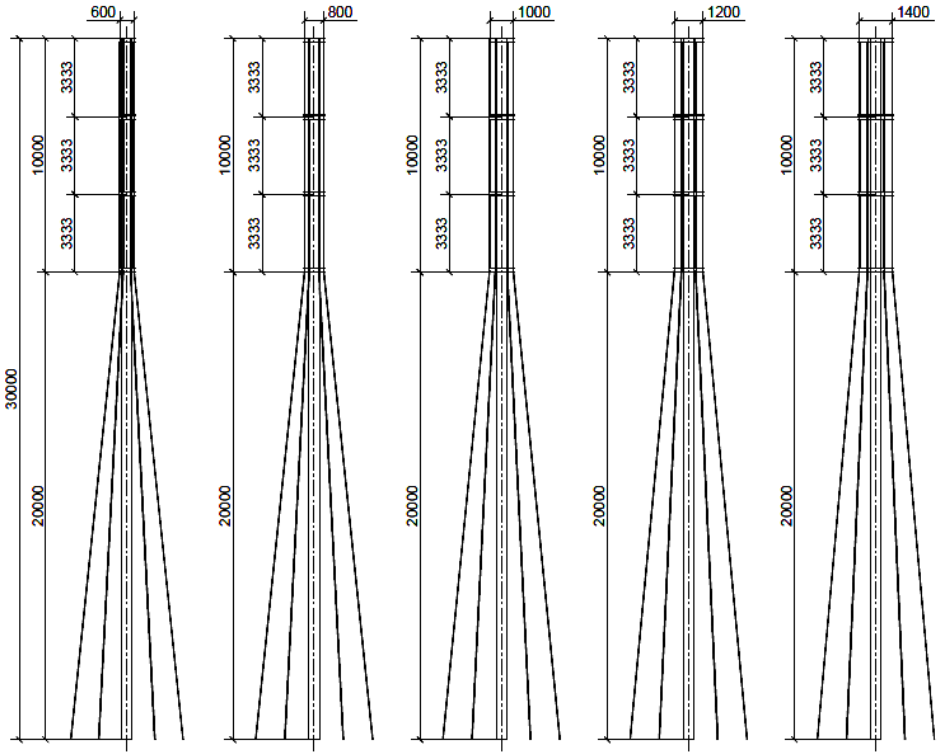
Standžiai įtvirtinto kamieno atramos taške lenkimo momentai padidėja daugiau nei 2 kartus didinant kamino skerspjūvį, kai tuo tarpu lanksčiai įtvirtintame kamiene lenkimo momentai pavojingiausioje vietoje beveik nesiskiria, tik išauga įrąžos ties žiedų pritvirtinimo vieta. Taip atsitinka, nes esant mažesniam kamieno skerspjūviui žiedų konstrukcija sudaro didesnį petį tarp atotampų ir kamieno, kas padidina lenkimo momentų reikšmes.

Žiūrint tik iš kilnojamojo − stiebo bokšto kamiene susidarančių įrąžų pusės, geriau būtų rinktis lanksčiai įtvirtinto kamieno variantą, nes ten atsirandantys lenkimo momentai beveik nesiskiria didinant kamieno skerspjūvį, bet atsižvelgus į viršūnės poslinkio ir posūkio kampo reikšmes matyti, kad lanksčiai įtvirtinta konstrukcija neatitinka standarte nustatytų bokšto pastovumo reikalvimų ir nėra tinkama naudojimui, nebent būtų sugalvota, kaip užtikrinti normas atitinkantį viršūnės poslinkį.

Įvertintus ištirtus ir aprašytus parametrus galima daryti išvadą, kad tokio tipo kilnojamajam stiebui − bokštui tinkamesnis standžiai įtvirtintas kamienas, nes jam galima naudoti mažesio skerspjūvio vamzdį, taip palengvinant ir atpiginant visą konstrukciją ir išlaikant mobiliojo ryšio kokybę.

2.3. Žiedų skersmens didinimo įtaka kilnojamojo stiebo – bokšto įtempiams ir deformacijoms

Trečiasis komponuojamasis kilnojamojo stiebo – bokšto parametras, pagal kurį toliau nagrinėjami jo įtempiai ir deformacijos, yra žiedų, prie kurių tvirtinamos atotampos, skersmens didinimas (žr. 2.16 pav.). Pasirenkami penki skirtingo skersmens žiedai: 0,6 m, 0,8 m, 1,0 m, 1,2 m, 1,4 m ir tiriama jų įtaka konstrukcijos įrąžoms ir deformacijoms.

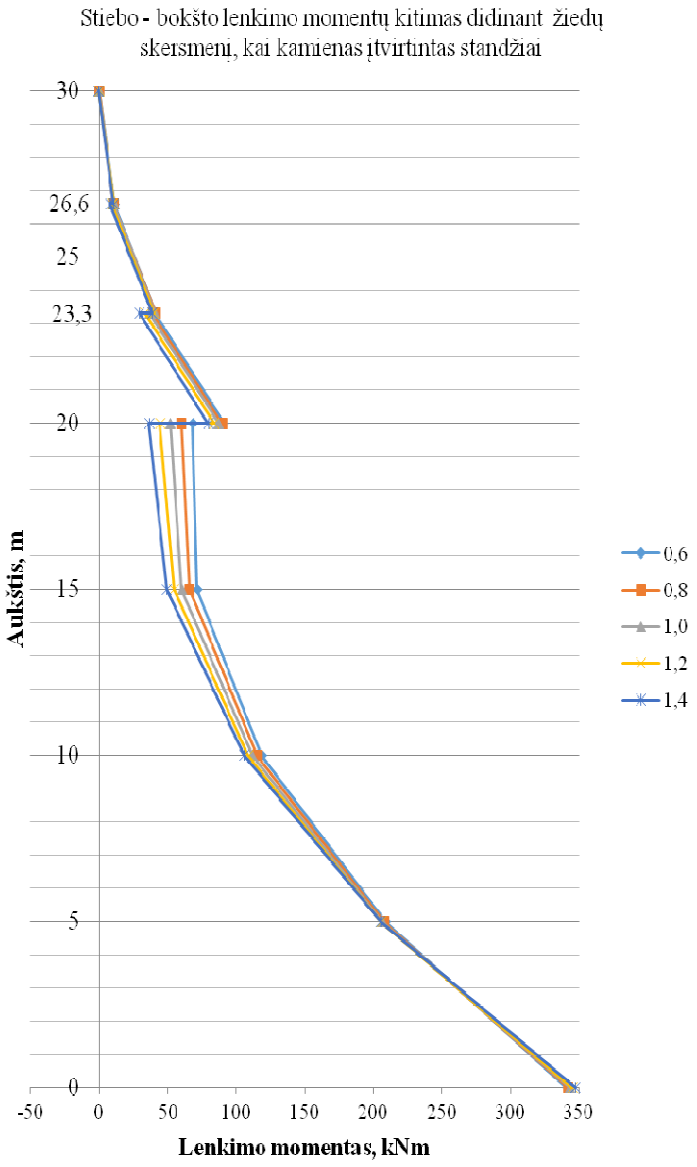


2.16 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto žiedų skersmens didinimo schema

Pirmasis nagrinėjamas variantas – kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas standžiai.

Atlikus kilnojamojo stiebo − bokšto konstrukcijos tyrimą, kai kamienas įtvirtintas standžiai, matyti, kad lenkimo momentai ties konstrukcijos kamieno atramos mazgu didėja nežymiai, kai yra didinamas žiedų skersmuo (žr. 2.17 pav.). Skirtumas tarp lenkimo momentų, ties konstrukcijos kamieno atramos tašku, kai žiedų skersmuo yra mažiausias − 0,6 m ir kai žiedų skersmuo yra didžiausias − 1,4 m, svyruoja nuo 341,13 kNm iki 347,24 kNm.

Dižiausias skirtumas, tarp kilnojamojo stiebo – bokšto kamiene atsirandančių lenkimo momentų, atsiranda ties žiedų įtvirtinimo tašku. Iš diagramoje (žr. 2.17 pav.) pateiktų skirtingų modelių tyrimo rezultatų galima matyti, kad didžiausias lenkimo momentų šuolis atsiranda tada, kai konstrukcija yra su didžiausiu žiedų skersmeniu, t.y. 1,4 m ir tokią elgseną galima paaiškinti. Didnant žiedų skersmenį yra atitolinamas atotampų tvirtinimo taškas, todėl susidaro didesnis petys tarp atotampų ir kamieno ir padidėja lenkimo momentų šuolis žiedų tvirtinimo vietose.



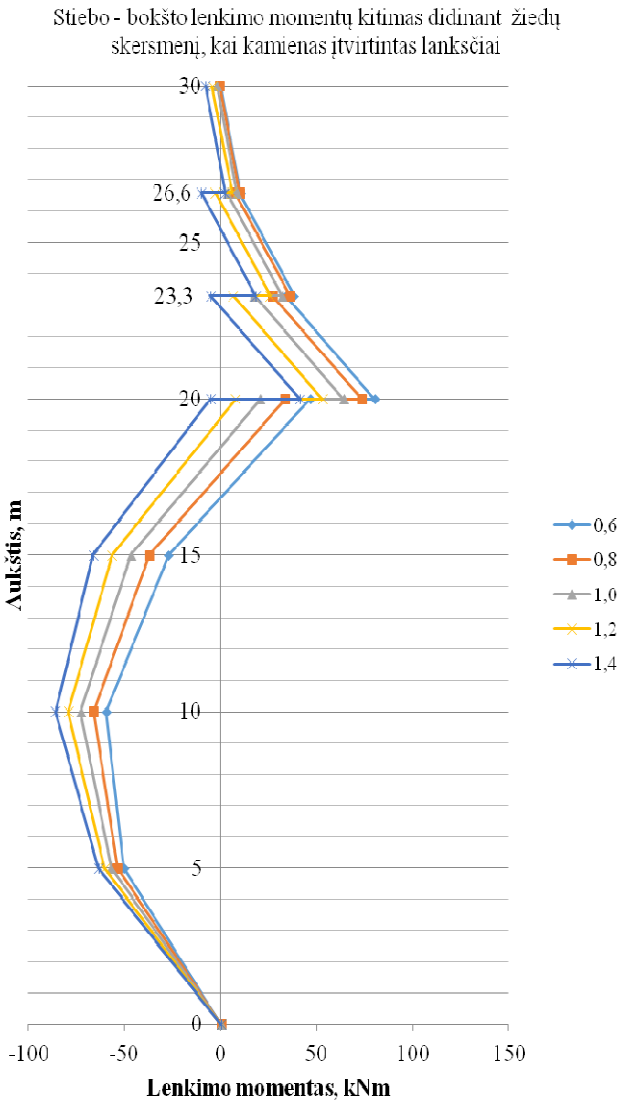
Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.17 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos žiedų skersmuo, kamienas įtvirtintas standžiai

Antrasis variantas – kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai.

Šiuo atveju, kai kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijos kamienas įtvirtintas lanksčiai, žiedų skersmens didinimo įtaka pasireiškia tuo, kad yra pastebimas lenkimo momento didėjimas didinant žiedų skerspjūvį (žr. 2.18 pav.). Taip pat matyti ryškūs lenkimo momentų šuoliai ties žiedų įtvirtinimo vietomis, bet nepaisant jų pločio, lenkimo momentų šuoliai yra laibai panašios reikšmės.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

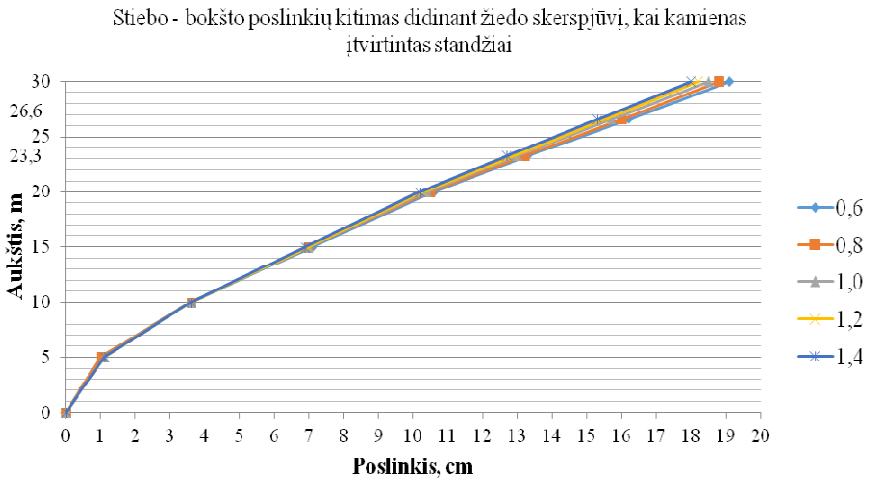
- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.18 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos žiedų skersmuo, kamienas įtvirtintas lanksčiai

Kitas svarbus dalykas, kurį parodo šis tyrimas, yra tas, kad kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentai ties viršūne padidėja ir nebėra lygus 0, kai žiedų skersmuo yra 1,0 m, 1,2 m arba 1,4 m, todėl tokia konstrukcijos struktūra nėra galima esant lanksčiam kamieno įtvirtinimui.

Projektuojant kilnojamuosius stiebus – bokštus ar bet kokius kitus telekomunikacinius statinius, svarbu patikrinti viršūnės deformacijas, nes pagrindinė tokių statinių paskirtis užtikrinti mobiliojo ryšio kokybę. Esant dideliems stiebo – bokšto viršūnės poslinkiams ar neleistinai dideliam posūkio kampui ši savybė nėra užtikrinama, todėl tikslinga tirti ir palyginti kaip keičiasi viršūnės deformacijos toko tipo stiebo – bokšto konstrukcijoje.

Pirmasis nagrinėjamas variantas, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas standžiai.



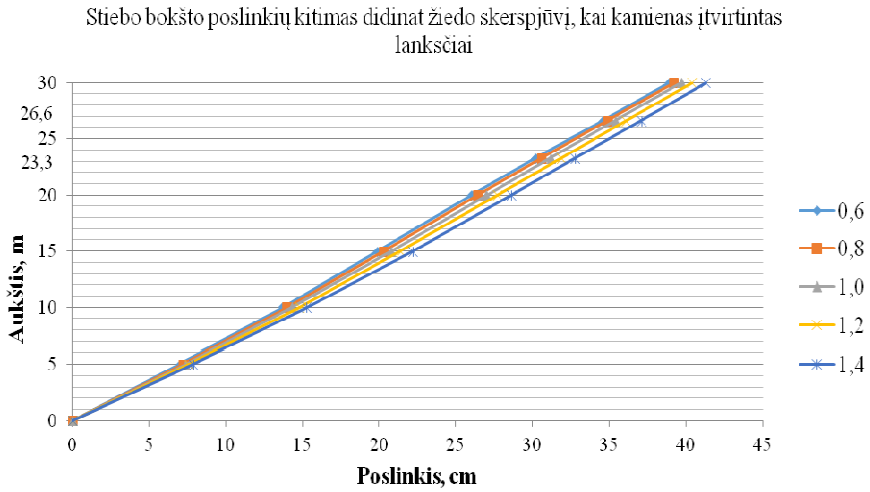
Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.19 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Diagramoje (žr. 2.19 pav.) pateikti tyrimo rezultatai, kai kilnojamasis stiebas – bokštas įtvirtintas standžiai, parodo, kad viršūnės poslinkis mažėja didinant žiedų skersmenį. Pagal standarte (STR 2.05.04:2003) nustatytą bokšto standumo sąlygą, kai viršūnės poslinkis turi būti ne didesnis nei 0,01 bokšto aukščio, tiriami kilnojamojo stiebo – bokšto modeliai, kai didinamas žiedų skerspjūvis, neviršyja leistynų nuokrypių ir svyruoja nuo 19,1 cm, kai žiedo skersmuo 0,6 m, iki 18,0 cm kai žiedo skersmuo – 1,4 m.

Antrasis nagrinėjamas variantas, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

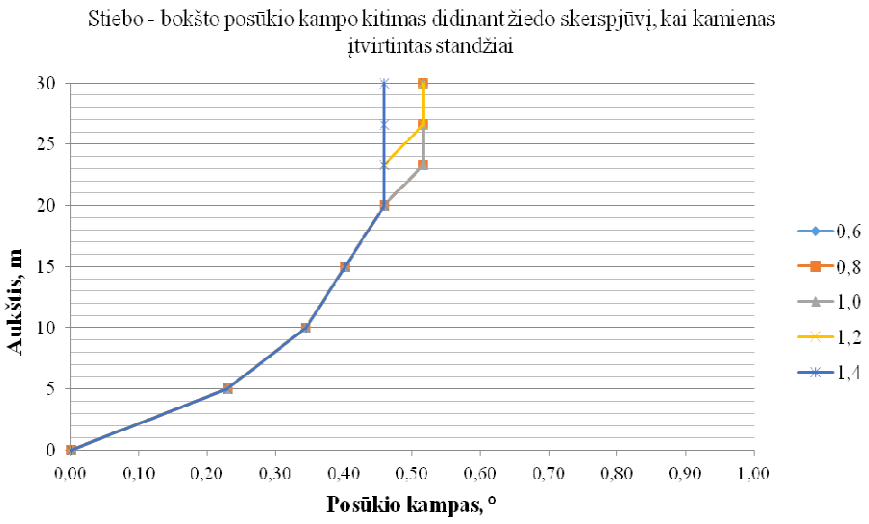
2.20 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Nagrinėjant tyrimo rezultatus, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai, matyti, kad žiedų skersmens didinimas turi nedidelę įtaką viršūnės poslinkiui (žr. 2.20 pav.). Viršūnes poslinkio reikšmės didėja didinant žiedų skersmenį ir svyruoja nuo 38,9 cm, kai žiedo skersmuo 0,6 m, iki 41,3 cm, kai žiedų skersmuo yra 1,4 m. Tikrinant stiebo – bokšto viršūnės poslinkio reikšmes pagal standarte (STR 2.05.04:2003) nurodytą bokšto standumo sąlygą matyti, kad nei vienas kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijos modelis, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai, neatitinka leistinos reikšmės, kuri lygi 30 cm.

Kitas itin svarbus parametras reikalingas tam, kad būtų galima užtikrinti mobiliojo ryšio kokybę, yra telekomunikacinio statinio viršūnės posūkio kampas.

Pimasis pagal šį parametrą nagrinėjamas kilnojamasis stiebas – bokštas yra įtvirtintas standžiai.

Atlikus viršūnė posūkio kampo tyrimą, kai didinamas kilnojamojo stiebo – bokšto žiedų skersmuo ir konstrukcijos kamienas įtvirtintas standžiai, matyti, kad šio komponuojamojo parametro keitimas neturi didelės įtakos viršūnės posūkio kampo kitimui (žr. 2.21 pav.).



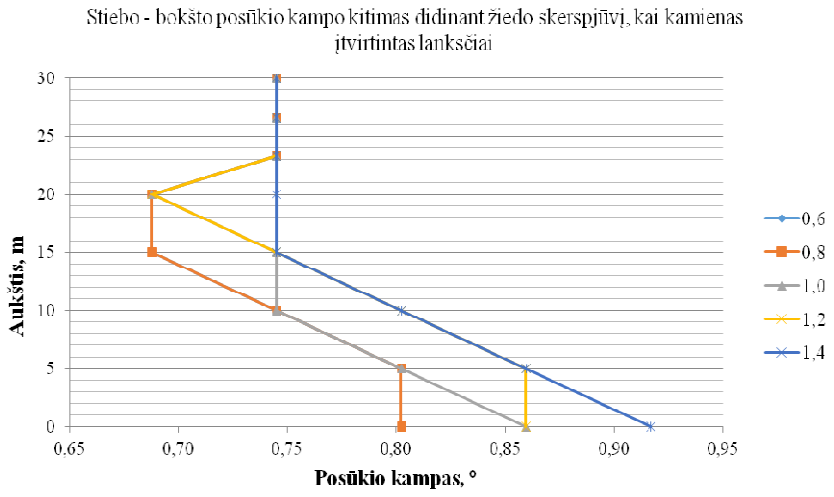
Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.21 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Posūkio kampas išlieka pastovus (0,52°), kai žiedų skersmuo yra 0,6 m, 0,8 m, 1,0 m, 1,2 m ir sumažėja, kai žiedų skersmuo yra 1,4 m. Taip pat matyti, kad visų standžiai įtvirtintų modelių viršūnės posūkio kampas atitinka normas ir neviršyja 3° (Smith, 2007).

Antrasis pagal šį parametrą nagrinėjamas kilnojamasis stiebas – bokštas yra įtvirtintas lanksčiai.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33 m (4 žiedai).

2.22pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Diagramoje (žr. 2.22 pav.) pavaizduoti viršūnės posūkio kampo tyrimo rezultatai parodo, kad viršūnės posūkio kampo kitimui kilnojamojo stiebo – bokšto žiedų skersmens didinimas, kai jis įtvirtintas lanksčiai, įtakos neturi, nes viršūnės posūkio kampo reikšmė išlieka tokia pati bet kurio modelio atžvilgiu. Taip pat matyti, kad pagal standartą visų standžiai įtvirtintų modelių viršūnės posūkio kampas atitinka normas ir neviršyja 3° (Smith, 2007). Bet šiek teik skiriasi posūkio kampo reikšmė ties kamienu. Esant mažesniam žiedų skersmeniui posūkio kampas ties kamienu yra mažesnis.

Skyriaus apibendrinimas

Išnagrinėjus konstrukcijoje atsirandančias įrąžas ir deformacijas matyti, kad žiedų skersmens didinimas padidina lenkimo momentų šuolį žiedų tvirtinimo vietose, kai konstrukcija yra įtvirtinta standžiai.

Kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai žiedų skersmens didinimo įtaka kitokia, t.y. padidėja lenkimo momentai konstrukcijos kamiene kartu su lenkimo momentų šuoliu ties žiedų įtvirtinimo mazgais. Taip pat kilnojamo stiebo – bokšto viršūnėja atsiranda lenkimo momentai, kurie rodo, kad lanksčiai įtvirtintas, būtent tokio aukščio ir tokios konstrukcijos kilnojamasis stiebas – bokštas, nėra tinkamas eksplotacijai, kai

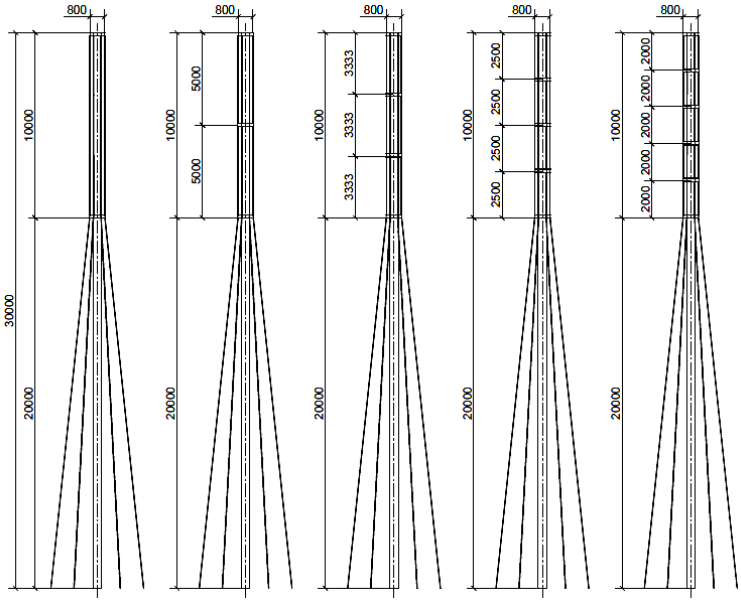
žiedų skersmuo 1,0 m, 1,2 m ir 1,4 m arba reikia imtis papildomų priemonių, kad būtų galima suvaldyti per didelius lenkimo momentus konstrukcijos viršūnėje.

Žiūrint iš konstrukcijos viršūnės deformacijos pusės matyti, kad standžiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkis mažėja, kaip ir posūkio kampas, didinant žiedų skersmenį. Nagrinėjant kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukciją, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai, matyti jau minėta problema, t.y. reikia imtis papildomų priemonių, kad būtų galima suvaldyti reikalavimų neatitinkančius viršūnės poslinkius.

Nagrinėjant kokią įtaką kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijai turi žiedų skersmens didinimas matyti, kad standžiai įtvirtinta konstrukcija yra stabilesnė ir atitinka tinkamumo ribinius būvius, todėl yra efektyvesnė, lyginant su lanksčiai įtvirtinta kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcija.

2.4. Žiedų skaičiaus didinimo įtaka kilnojamojo stiebo – bokšto įtempiams ir deformacijoms

Ketvirtasis komponuojamasis kilnojamojo stiebo – bokšto parametras, pagal kurį toliau nagrinėjami jo įtempiai ir deformacijos, yra žiedų, prie kurių tvirtinamos atotampos, skaičiaus didinimas arba tarpatramio tarp žiedų mažinimas (žr. 2.23 pav.). Pasirenkami penki skirtingi tarpatramiai: 10 m (2 žiedai), 5 m (3 žiedai), 3,33 m (4 žiedai), 2,5 m (5 žiedai), 2 m (6 žiedai) ir tiriama jų įtaka konstrukcijos įrąžoms ir deformacijoms.

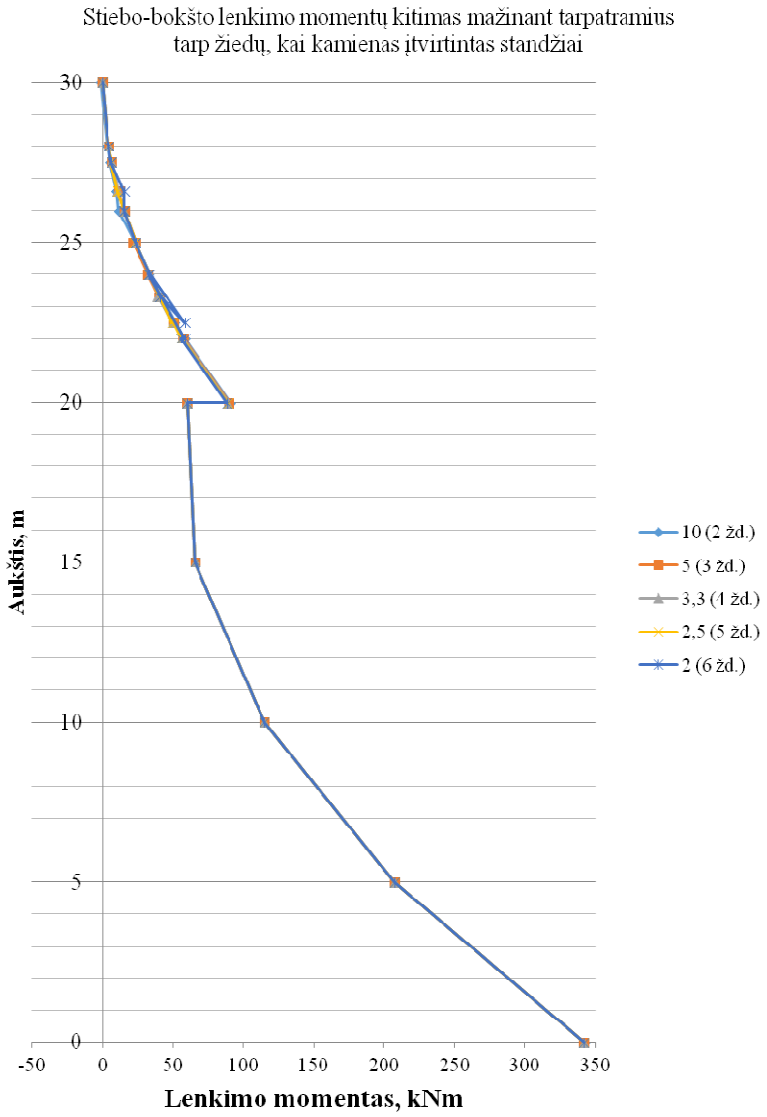


2.23 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto tarpatramio tarp žiedų mažinimo schema

Nagrinėjami kamieną veikiantys lenkimo momentai, konstrukcijos viršūnės poslinkio ir posūkio kampo kitimas. Tiriami du skirtingi stiebo – bokšto kamieno įtvirtinimo variantai: pirmas - kamienas įtvirtintas standžiai; antras – kamienas įtvirtintas lanksčiai.

Pirmasis variantas – kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas standžiai.

Atlikus tyrimą matyti, kad žiedų skaičiaus didinimas didelės įtakos konstrukcijoje atsirandančiam lenkimo momentui neturi, kai kalbama apie kilnojamąjį stiebą – bokštą, kuris įtvirtintas standžiai (2.24 pav.).



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

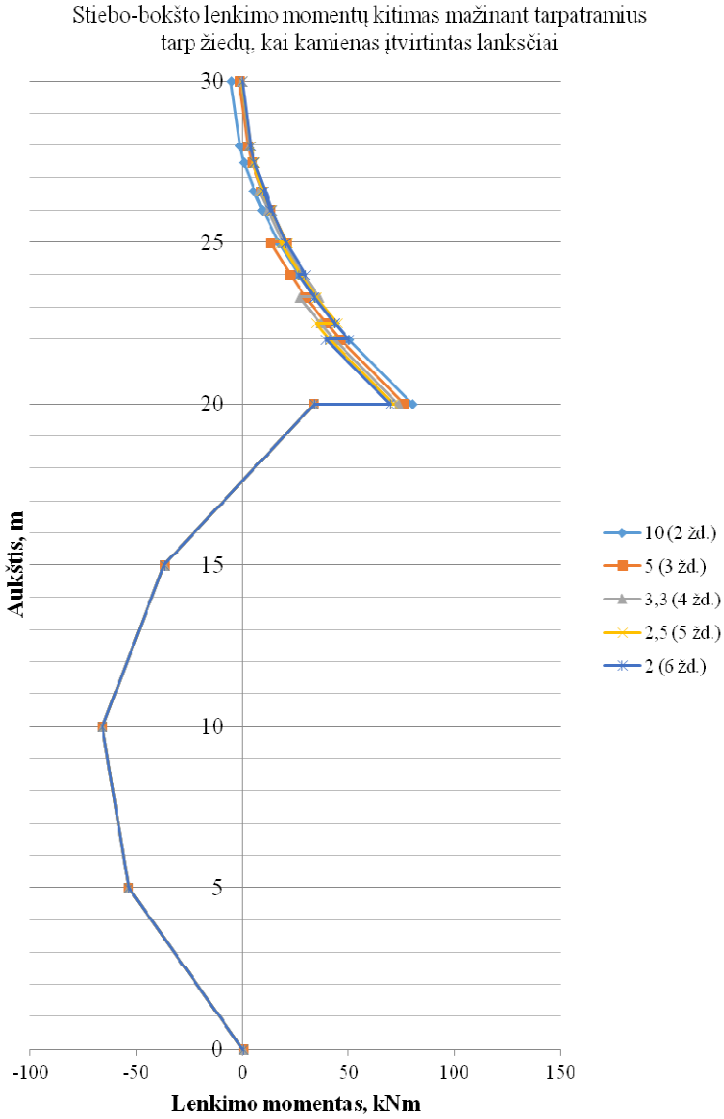
- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Žiedų skersmuo - 800 mm.

2.24 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos žiedų skersmuo, kamienas įtvirtintas standžiai

Ties kamieno vieta, kurioje tvirtinami pirmieji žiedai (20 m), matomas nedidelis lenkimo momentų šuolio sumažėjimas padidinus žiedų skaičių. Taip pat kilnojamojo stiebo –

bokšto viršūnėje galima pastebėti truputi padidėjusį lenkimo momentą, kai tarpatramis tarp žiedų yra 10 m (2 žiedai), todėl nerekomenduojama apsiriboti tik dviem žiedais.

Antrasis variantas – kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai.



s kamienas įtvirtintas lanksčiai, žiedų skai

Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

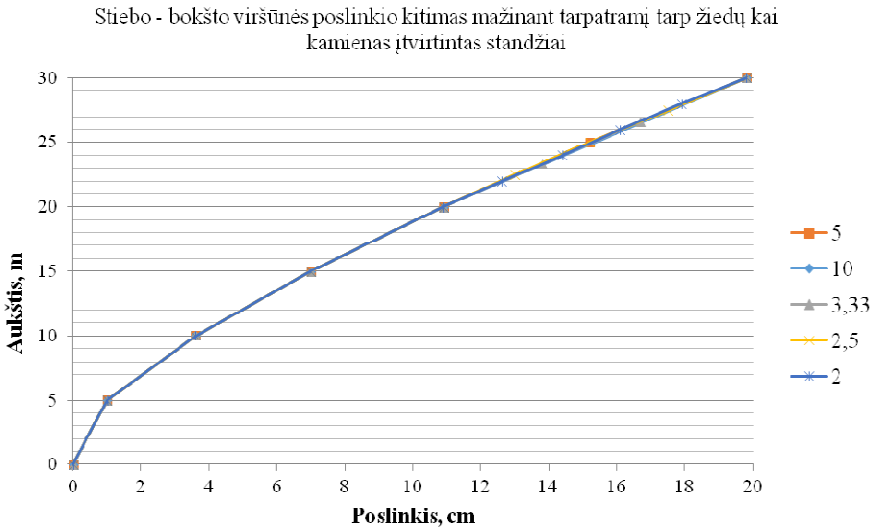
- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Žiedų skersmuo - 800 mm.

2.25 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto lenkimo momentų diagrama, kai didinamas konstrukcijos žiedų skaičius, kamienas įtvirtintas lanksčiai

Iš diagramoje (žr. 2.25 pav.) pateiktų tyrimo rezultatų galima pastebėti lenkimo momentų šuolio, ties žiedų tvirtinimo vieta, sumažėjimą didinant žiedų skaičių. Taip pat, kaip ir standžiai įtvirtintame kilnojamame stiebe – bokšte, taip ir šiuo atveju matoma, kad konstrukcijos viršūnės taške, kai tarptatramis tarp žiedų 10 m ir 5 m, atsiranda lenkimo momentas, kurio ten neturėtų būti. Todėl reiktų vengti tokio žiedų tarpatramio, kai kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcija yra įtvirtinta lanksčiai arba imtis papildomų priemonių atsiradusių lenkimo momentų stabilizavimui.

Projektuojant kilnojamuosius stiebus – bokštus ar bet kokius kitus telekomunikacinius statinius, svarbu patikrinti viršūnės deformacijas, nes pagrindinė tokių statinių paskirtis užtikrinti mobiliojo ryšio kokybę. Esant dideliems stiebo – bokšto viršūnės poslinkiams ar neleistinai dideliam posūkio kampui ši savybė nėra užtikrinama, todėl tikslinga tirti ir palyginti kaip keičiasi viršūnės deformacijos toko tipo stiebo – bokšto konstrukcijoje.

Pirmasis nagrinėjamas variantas, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas standžiai.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Žiedų skersmuo - 800 mm.

2.26 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai

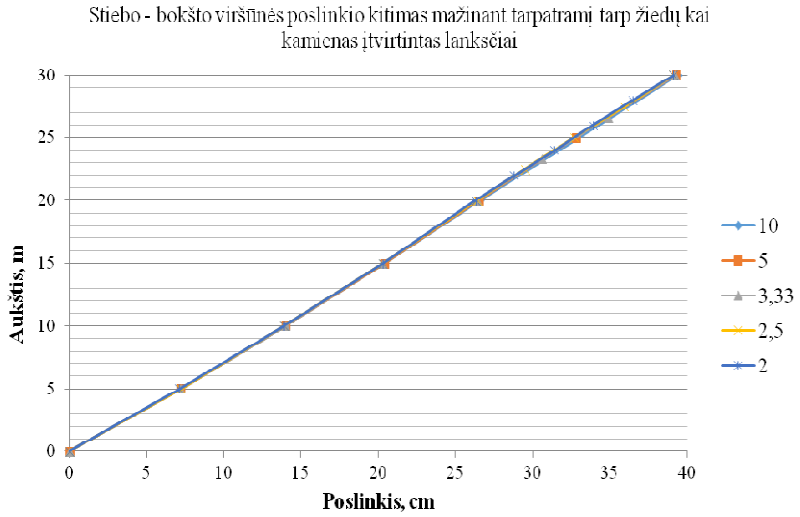
Diagramoje (žr. 2.26 pav.) pavaizuoti tyrimo rezultatai rodo, kad žiedų skaičius ar tarpatramio tarp jų mažinimas, neturi tiesioginio poveikio standžiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkiui, nes visuose tirtuose modeliuose viršūnės poslinkis yra 19,8 cm ir jis neviršyja standarte (STR 2.05.04:2003) numatytų reikalavimų.

Antrasis nagrinėjamas variantas, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai.

Nagrinėjant tyrimo rezultatus, kai kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai matyti, kad tarpatramio tarp žiedų didinimas neturi didelės įtakos viršūnės poslinkiui (žr. 2.27 pav.). Mažinant tarpatramį tarp žiedų, tuo pačiu didinant jų skaičių, matyti, kad mažėja konstrukcijos viršūnės poslinkis. Tas kitimas nėra žymus, t.y. nuo 39,4 cm, kai tarpatramis tarp žiedų 10 m, iki 39,1 cm, kai tarpatramis tarp žiedų 2 m.

Taip pat atlikus tyrimą matyti, kad tokio tipo kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijos viršūnės poslinkis yra per didelis ir neatitinka standarte (STR 2.05.04:2003)

numatytų reikalavimų, todėl tokia konstrukcija, su lanksčiai įtvirtintu kamienu, negali būti eksplotuojama arba turi būti imtasi priemonių kad būtų galima suvaldyti per didelius viršūnės poslinkius.



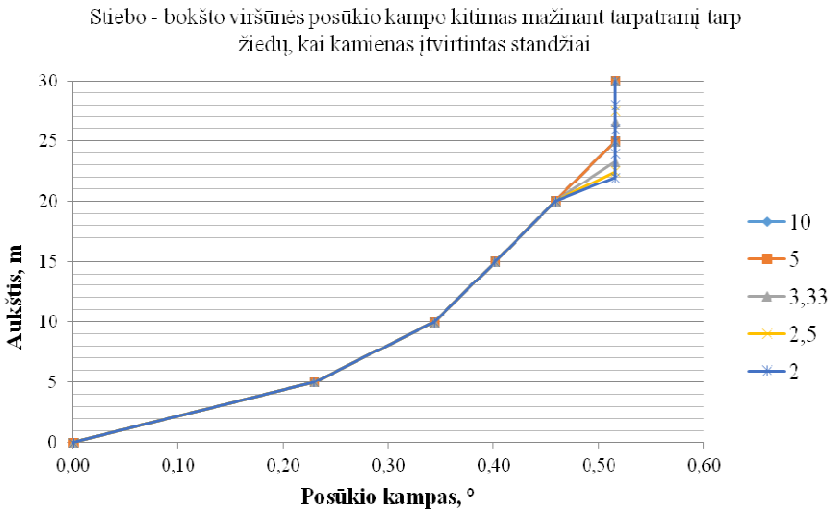
Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Žiedų skersmuo - 800 mm.

2.27 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės poslinkio diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Kitas itin svarbus parametras reikalingas tam, kad būtų galima užtikrinti mobiliojo ryšio kokybę, yra telekomunikacinio statinio viršūnės posūkio kampas.

Pimasis pagal šį parametrą nagrinėjamas kilnojamasis stiebas – bokštas yra įtvirtintas standžiai.



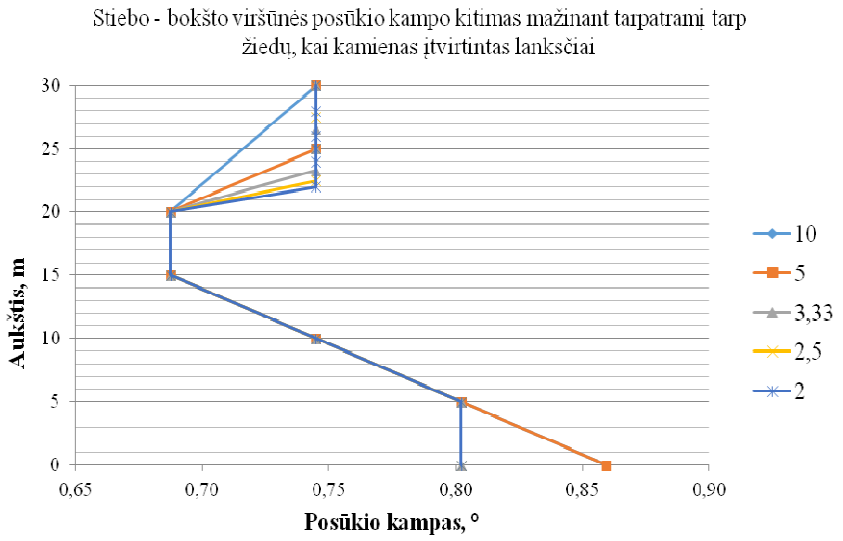
Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Žiedų skersmuo - 800 mm.

2.28 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Atlikus tarpatramių tarp žiedų mažinimo tyrimą su kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcija, kurios kamienas įtvirtintas standžiai, matyti, kad šio komponuojamojo parametro keitimas neturi poveikio konstrukcijos posūkio kampo kitimui (žr. 2.28 pav.). Jis išlieka stabilus visose tirtuose konstrukcijos modeliuose ir yra lygus 0,52°, kas neviršyja normose numatyto reikalavimo – 3° (Smith, 2007).

Antrasis pagal šį parametrą nagrinėjamas kilnojamasis stiebas – bokštas yra įtvirtintas lanksčiai.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Išankstinis atotampų įtempimas - 200 MPa;
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Žiedų skersmuo - 800 mm.

2.29 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo diagrama, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Atlikus tarpatramių tarp žiedų mažinimo tyrimą su kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcija, kurios kamienas įtvirtintas lanksčiai, matyti, kad šio komponuojamojo parametro keitimas taip pat neturi poveikio konstrukcijos posūkio kampo kitimui (žr. 2.29 pav.). Jis išlieka stabilus ir yra lygus 0,74° ir neviršyja normose numatyto reikalavimo – 3° (Smith, 2007). Bet įdomu tai, kad kai tarpatramis tarp žiedų yra 10 m arba 5 m padidėja kamieno ties atrama posūkio kampas.

Skyriaus apibendrinimas

Išnagrinėjus konstrukcijoje atsirandančias įrąžas ir deformacijas matyti, kad žiedų tarpatramio mažinimas neturi didelės įtakos kilnojamojo stiebo – bokšto įrąžoms tiek kalbant apie standžiai įtvirtintą kamieną, tiek ir apie lankstų jo įtvirtinimą. Tik pastebėta, kad esant mažam žiedų skaičiui arba dideliam tarpatramiui tarp žiedų, pvz. 10m (2 žiedai), atsiranda

neleistinas lenkimo momentas kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijos viršūnės taške, todėl rekomenduojama neapsiriboti mažu žiedų kiekiu.

Tiriant kokia žiedų tarpatramio įtaka kilnojamojo stiebo – bokšo viršūnės deformacijoms matyti, kad nesikeičia nei viršūnės poslinkis nei viršūnės posūkio kampas mažinant tarpatramį tarp žiedų.

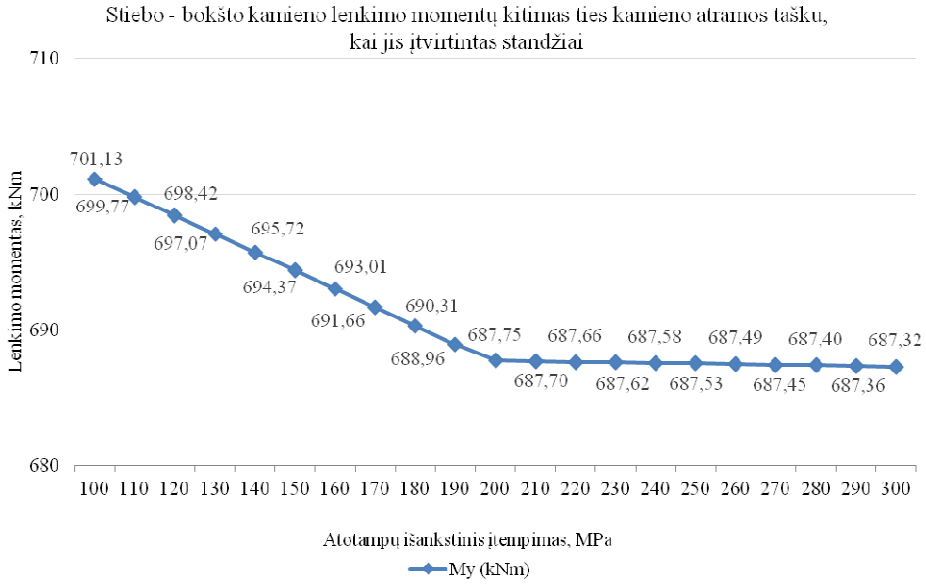
2.5. Atotampų įtempimo didinimo įtaka stiebo – bokšto įtempiams ir deformacijoms

Penktasis komponuojamasis kilnojamojo stiebo – bokšto parametras, pagal kurį toliau nagrinėjami jo įtempiai ir deformacijos, yra atotampų įtempimas. Bus tiriama kokią įtaką turi atotampų įtempimo didinimas konstrukcijos įrąžoms ir deformacijoms. Nagrinėjamas 21 modelis, kuriuose nuo 100 MPa iki 300 MPa, kas 10 MPa, yra didinamas atotampų įtempimas. Analizuojamas standžiai įtvirtintos kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcijos variantas, 2.1 lentelėje pateikti tyrimo duomenys.

2.1 lentelė. Kilnojamojo stiebo – bokšto įrąžų, viršūnės poslinkio ir posūkio kampo kitimas didinant atotampų įtempimą, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil.Nr.	Atotampos įtempimas (Mpa)	Maksimalios įrąžos						Poslinkiai		Posūkio kampas	
		Fx (kN)	Taškas	Fz (kN)	Taškas	My (kNm)	Taškas	UX, (cm)	Taškas	RY, °	Taškas
1	100	82,76	2	48,63	1	701,13	1	-43,9	2	1,089	2
2	110	88,67	2	48,52	1	699,77	1	-43,8	2	1,089	2
3	120	94,57	2	48,42	1	698,42	1	-43,7	2	1,089	2
4	130	100,48	2	48,31	1	697,07	1	-43,6	2	1,089	2
5	140	106,38	2	48,20	1	695,72	1	-43,5	2	1,089	2
6	150	112,28	2	48,09	1	694,37	1	-43,4	2	1,089	2
7	160	118,19	2	47,99	1	693,01	1	-43,3	2	1,089	2
8	170	124,09	2	47,88	1	691,66	1	-43,2	2	1,089	2
9	180	130,00	2	47,77	1	690,31	1	-43,1	2	1,089	2
10	190	135,90	2	47,67	1	688,96	1	-43,1	2	1,089	2
11	200	141,82	2	47,56	1	687,75	1	-43,0	2	1,089	2
12	210	147,84	2	47,49	1	687,70	1	-43,0	2	1,089	2
13	220	153,86	2	47,41	1	687,66	1	-43,0	2	1,089	2
14	230	159,88	2	47,34	1	687,62	1	-43,0	2	1,089	2
15	240	165,90	2	47,26	1	687,58	1	-43,0	2	1,089	2
16	250	171,92	2	47,19	1	687,53	1	-43,1	2	1,089	2
17	260	177,94	2	47,11	1	687,49	1	-43,1	2	1,089	2
18	270	183,96	2	47,04	1	687,45	1	-43,1	2	1,089	2
19	280	189,96	2	46,96	1	687,40	1	-43,1	2	1,089	2
20	290	196,00	2	46,89	1	687,36	1	-43,1	2	1,089	2
21	300	202,02	2	46,81	1	687,32	1	-43,2	2	1,089	2

Kadangi standžiai įtvirtintose konstrukcijose didžiausi lenkimo momentai susidaro ties įtvirtinimo tašku, tai ir šis lenkimo momentų tyrimas paremtas jų kitimu ties kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno įtvirtinimo mazgu (žr. 2.30 pav.).



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

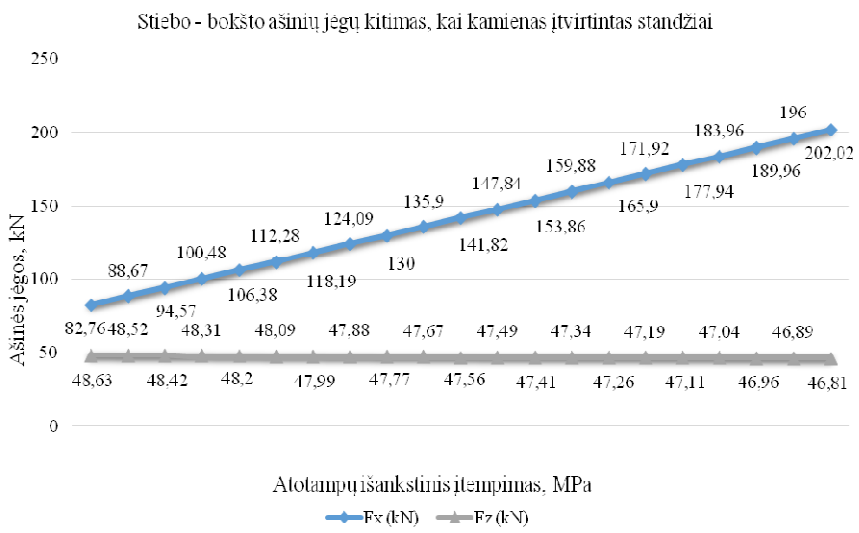
- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33m (4 žiedai);
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Žiedų skersmuo - 800 mm.

2.30 pav. Lenkimo momentų reikšmės ties kilnojamojo stiebo – bokšto atramos mazgu didinant atotampų įtempimą

Atlikus tyrimą, kai didinamas išankstinis atotampų įtempimas, matyti, kad lenkimo momentui, ties kilnojamojo stiebo – bokšto atramos tašku, įtakos tai turi. Didėjant atotampos įtempimo reikšmei lenkimo momento reikšmė ties kamieno įtvirtinimo tašku mažėja ir stabilizuojasi įtempiui pasiekus 200 MPa ribą, todėl galima daryti išvadą, kad pagal lenkimo momentų reikšmes konstrukcijos atramos taške, tinkamiausias atotampų įtempimas ir yra 200 MPa.

Taip pat atlikus tyrimą galima nustatyti, kaip keičiasi maksimalio ašinių jėgų reikšmės konstrukcijos kamiene didinant atotampų įtempimą.

Pagal rezultatus, pavaizduotus diagramoje (žr. 2.31 pav.), matyti, kad didinant atotampų įtempimą, ašinė jėga F(x), kilnojamojo stiebo – bokšo kamieno atramos mazge, daidėja. Ašinė jėga F(z), kuri konstrukcijos viršūnės taške yra didžiausia, priklausomai nuo atotmapų įtempimo didinimo nežymiai mažėja.

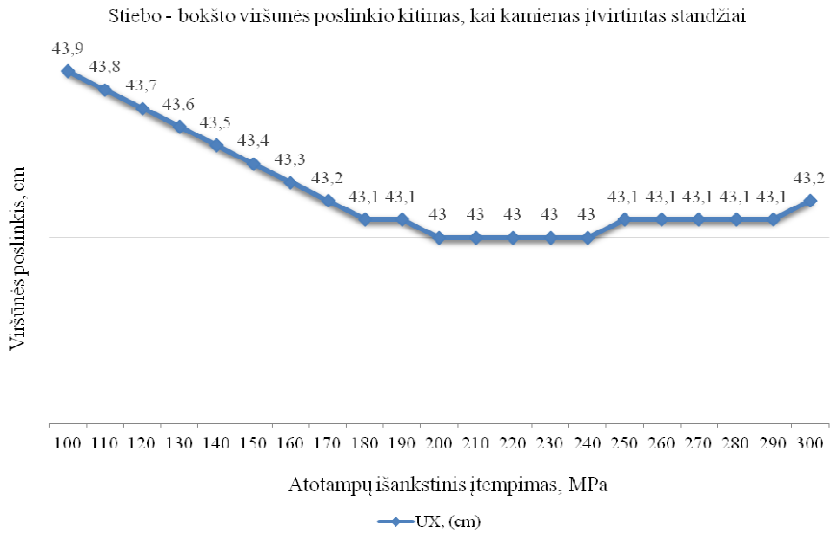


Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33m (4 žiedai);
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Žiedų skersmuo - 800 mm.

2.31 pav. Kilnojamojo stiebo – bokšto ašinių jėgų F(x) ir F(z) reikšmės didinant atotampų įtempimą

Kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės deformacijos kitimas didinant atotampų įtepimą taip pat yra svarbus parametras vertinat konstrukcijos elgseną. Diagramoje (žr. 2.32 pav.) pateikiami tyrimo rezultatai iš kurių matyti, kad viršūnės poslinkis mažėja didinant atotmpų įtempimą iki ribos, kai jis pasiekia 200 MPa, tada, padidinus atotampų įtempimą iki 250MPa, viršūnės poslinkis vėl pradeda augti.

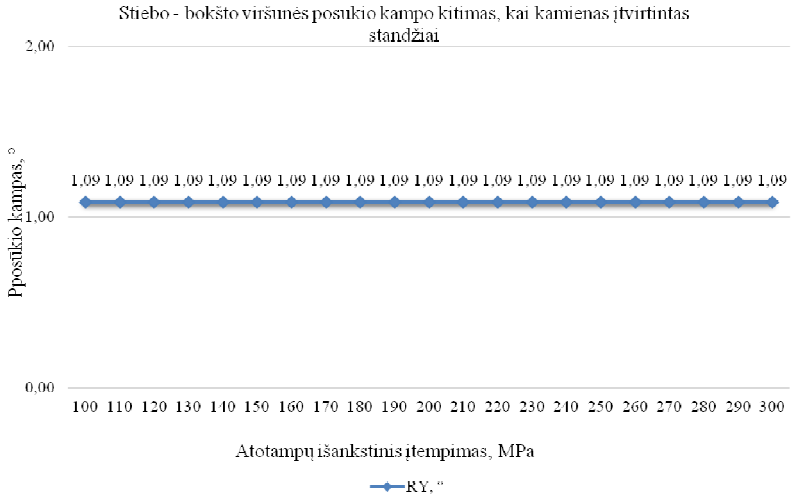


Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33m (4 žiedai);
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Žiedų skersmuo - 800 mm.

2.32 pav. Konstrukcijos viršūnės poslinkio kitimas didinant atotampų įtempimą

Kitas parametras, apibūdinantis konstrukcijos viršūnės deformaciją, yra posūkio kampas.



Pradiniai kilnojamojo stiebo - bokšto duomenys:

- Kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų - 75°;
- Tarpatramis tarp žiedų - 3,33m (4 žiedai);
- Kamieno skerspjūvis - 450x8 mm;
- Žiedų skersmuo - 800 mm.

2.33 pav. Konstrukcijos viršūnės posūkio kampo kitimas didinant atotampų įtempimą

Diagramoje (žr. 2.33 pav.) pavaizduoti tyrimo rezultatai rodo tai, kad atotampų įtempimo didinimas neturi įtakos kilnojamojo stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampo kitimui ir jo reikšmė lieka tokia pati visais nagrinėtais atvėjais.

Skyriaus apibendrinimas

Išnagrinėjus konstrukcijos įrąžas ir deformacijas, matyti, kad atotampų išankstinio įtempimo didinimas turi įtakos bendroms konstrukcijos įrąžoms ir deformacijoms, išskyrus posūkio kampą.

Lenkimo momentai ties konstrukcijos kamieno įtvirtinimo mazgu pradeda mažėti, kai didinamas atotampų išankstinis įtempimas, bet ties 200 MPa įtempimo riba lenkimo momentas ima stabilizuotis ir toliau kinta minimaliai.

Panaši situacija vyksta ir su kilnojamojo stiebo bokšto viršūnės poslinkiu. Didinant atotampų įtempimą jis sparčiai mažėja iki kol pasiekia 200 MPa ribą ir tada nuo 250 MPa ima augti. Todėl galima daryti išvadą, kad rekomenduotinas išankstinis atotampų įtempimas turėtų būti apie 200 MPa.

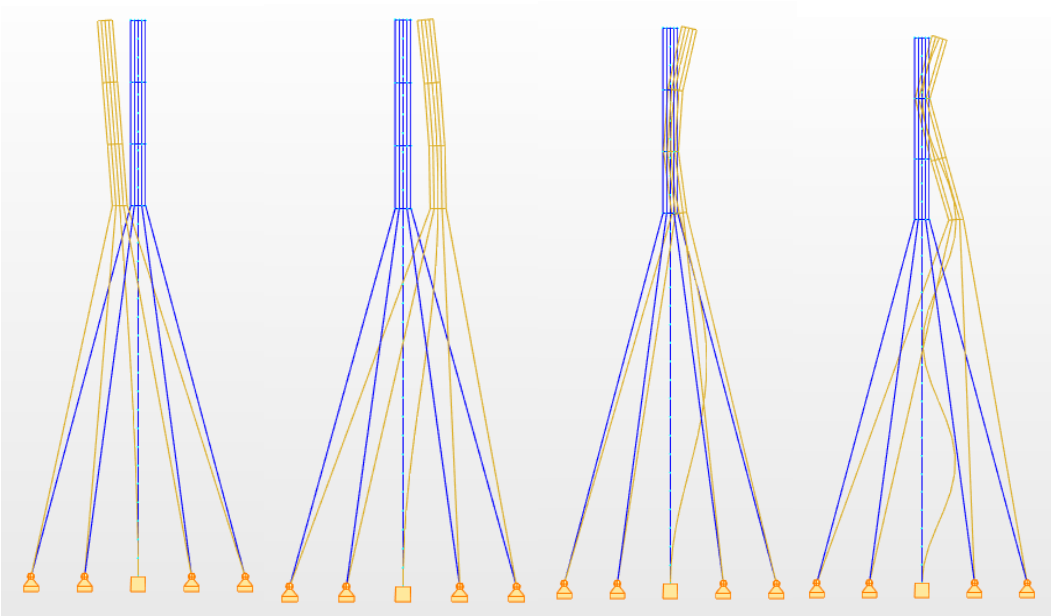
3. KOMPONUOJAMŲJŲ PARAMETRŲ ĮTAKA KILNOJAMOJO STIEBO – BOKŠTO PASTOVUMUI

Kilnojamojo stiebo – bokšto pastovumo klausimas taip pat yra svarbus tyrimo objektas. Šiame darbe siekiama nustatyti ir palyginti skirtingų konstrukcijos įtvirtinimų ir skirtingų komponuojamųjų parametrų keitimo įtaką kamieno efektyviajam ilgiui, atsižvelgiant į kilnojamojo stiebo – bokšto klupumo formas. Nustatytas efektyvusis konstrukcijos kamieno ilgis parodys kokio ilgio, iki žiedų tvirtinimo vietos, gali būti pasirinktos konstrukcijos kilnojamojo stiebo – bokšto kamienas.

Tam, kad būtų galima apskaičiuoti efektyvųjį kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno ilgį yra reikalingi tokie parametrai:

1) Didžiausia ašinė jėga atsirandanti konstrukcijos kamiene;
2) Kritinis koeficientas gautas tyrimo metu;
3) Medžiagos ir skerspjūvio parametrai: tamprumo modulis ir inercijos momentas.

Nagrinėjami du kilnojamojo stiebo – bokšto variantai: standus ir lankstus kamieno įtvirtinimai. Kiekvienam iš jų parenkamos keturios klupumo formos su skirtingais tyrimo metu gautais kritiniai koeficientais.



3.1 pav. Standžiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo – bokšto klupumo formos

Standžiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo − bokšto klupumo formos, pateiktos 3.1 paveiksle, nurodytos didėjimo tvarka, t.y. pirmoji pavaizduota klupumo forma atitinka pirmą kilnojamojo stiebo − bokšto klupumo formą, paskutinioji − ketvirtą klupumo formą. Atlikus tyrimą gauti apkrovos koeficientai, kiekvienai klupumo formai atskirai, yra dauginami su konstrukcijos kamiene atsirandančia maksimalia įrąžą ir gaunama kritinė jėga, kuri parodo kokia yra kritinė apkrova, kai konstrukcija praranda pastovumą.

Pirmajai, standžiai įtvirtintai, pasirinktos konstrukcijos kamieno klupumo formai gautas apkrovos koeficientas yra 15,37, o maksimali įrąža veikianti kilojamojo stiebo − bokšto kamieną yra 128,13 kN, vadinasi kritinė jėga, ties kuria pasireiškia pirmoji klupumo forma, yra 124,32 kN. Sužinoję šį dydį bei turėdami tamprumo modulį ir inercijos momentą, galime sužinoti koks yra efektyvus konstrukcijos kamieno ilgis iki žiedų pritvirtinimo vietos ir šiuo atveju jis yra − 41,8m. 3.1 lentelėje pateikti apskaičiuoti konstrukcijos kamieno efektyvieji ilgiai atsižvelgiant į prieš tai nagrinėtų komponuojamųjų parametrų keitimą.

3.1 lentelė. Standžiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno efektyvusis ilgis atsižvelgiant į komponuojamųjų parametrų keitimą.

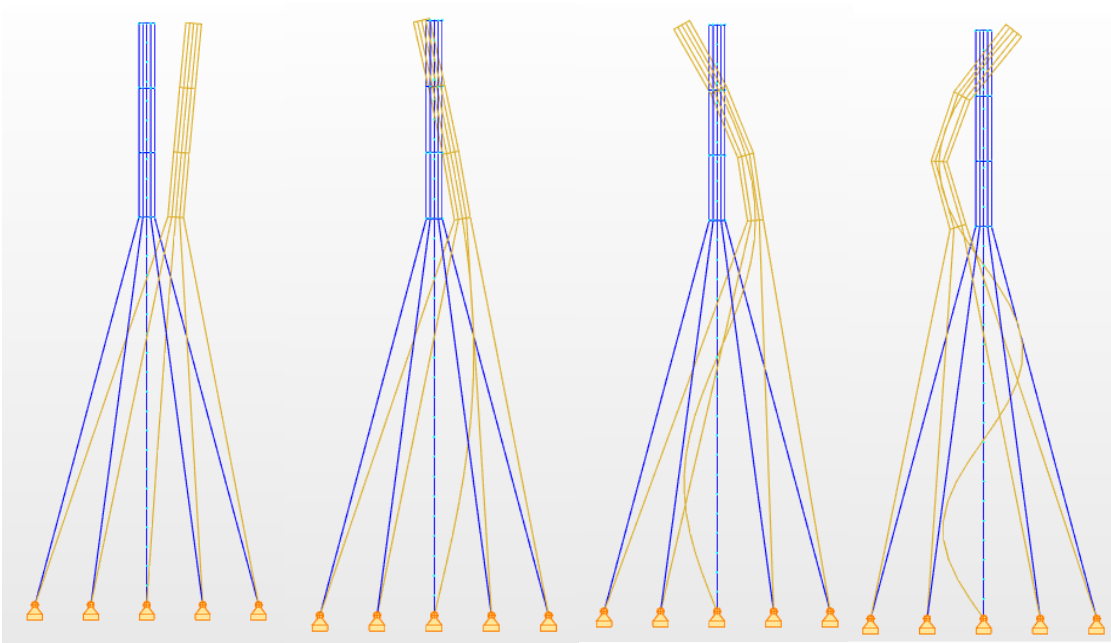
	Komponuojamasis parametras	I forma	II forma	III forma	IV forma
Kilnojamojo stiebo − bokšto kamieno skerspjūvio didinimas					
L_{eff}, m	350x6	33,64	16,32	11,62	8,27
	400x8	37,50	17,25	11,78	8,40
	450x8	41,61	18,13	11,86	8,47
	500x10	46,28	18,84	11,94	8,54
	550x10	49,59	19,28	12,02	8,61
Kilnojamojo stiebo − bokšto kampo tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų mažinimas					
L_{eff}, m	85°	50,43	18,86	11,47	8,22
	80°	46,11	18,93	11,85	8,46
	75°	41,61	18,13	11,86	8,47
	70°	38,73	17,10	11,87	8,50
	65°	37,00	15,93	11,80	8,48
Kilnojamojo stiebo − bokšto tarpatramio tarp žiedų mažinimas					
L_{eff}, m	10	39,07	17,02	11,14	7,96
	5	40,70	17,73	11,61	8,29
	3,33	41,61	18,13	11,86	8,47
	2,5	42,72	16,61	12,18	8,69
	2	43,63	19,01	12,44	8,88

3.1 lentelė. Pabaiga

Kilnojamojo stiebo – bokšto žiedų skersmens didinimas					
L_{eff},*m*	0,6	39,40	16,99	11,16	7,96
	0,8	40,69	17,72	11,60	8,28
	1,0	41,23	18,15	11,83	8,45
	1,2	41,93	18,66	12,10	8,65
	1,4	42,43	19,09	12,32	8,81

Iš 3.1 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad, kai kilnojamojo stiebo – bokšto konstrukcija yra įtvirtinta standžiai, jos kamieno efektyvieji ilgiai, pagal komponuojamųjų parametrų keitimo tyrimą, pasiskirsto skirtingai. Pirmasis tirtas komponuojamasis parametras – kamieno skerspjūvio didinimas. Atlikus tyrimą matyti, kad didinat kamieno skerspjūvį, jo efektyvusis ilgis taip pat didėja. Kitas parametras, pagal kurį tirtas kilnojamasis stiebas – bokštas, yra kampo tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų mažinimas. Atlikus tyrimą matyti, kad mažinant minėtąjį kampą mažėja ir kamieno efektyvusis ilgis. Trečias parametras yra kilnojamojo stiebo – bokšto tarpatramio tarp žiedų mažinimas. Atlikus šį tyrimą matyti, kad mažinant tarpatramį tarp žiedų didėja konstrukcijos kamieno efektyvusis ilgis. Ketvirtas parametras yra kilnojamojo stiebo – bokšto žiedų skersmens didinimas. Atlikus šį tyrimą paaiškėjo, kad kamieno efektyvusis ilgis didėja didinant žiedų skersmenį.

Lanksčiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo - bokšto klupumo formos pateiktos 3.2 paveiksle.



3.2 pav. Lanksčiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo – bokšto klupumo formos

Lanksčiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo − bokšto klupumo formos, 3.2 paveiksle, pateiktos didėjimo tvarka, t.y. pirmoji pavaizduota pirma kilnojamojo stiebo − bokšto klupumo forma, paskutinioji − ketvirta klupumo forma. Atliekamas analogiškas tyrimas, kaip ir su standžiai įtvirtinta kilnojamojo stiebo − bokšto konstrukcija, ir randama kritinė jėga, pagal kurią ir nustatoma maksimali apkrova, kurią pasiekusi konstrukcija praranda pastovumą.

Pirmajai, lanksčiai įtvirtinto, pasirinktos konstrukcijos kamieno klupumo formai gautas apkrovos koeficientas yra 2,92, o maksimali ašinė jėga veikianti kilojamojo stiebo − bokšto kamieną yra 191,54 kN, vadinasi kritinė įrąžą, ties kuria pasireiškia pirmoji klupumo forma, yra 559,30 kN. Sužinoję šį dydį ir turėdami tamprumo modulį ir inercijos momentą galime sužinoti, koks yra efektyvus konstrukcijos kamieno ilgis iki žiedų pritvirtinimo vietos ir šiuo atveju jis yra − 24,83 m. Likę tyrimo rezultatai pateikti 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Lanksčiai įtvirtinto kilnojamojo stiebo – bokšto kamieno efektyvusis ilgis atsižvelgiant į komponuojamųjų parametrų keitimą.

	Komponuojamasis parametras	I forma	II forma	III forma	IV forma
Kilnojamojo stiebo − bokšto kamieno skerspjūvio didinimas					
L_{eff}, m	350x6	30,48	27,22	13,75	9,35
	400x8	37,30	25,38	13,97	9,41
	450x8	44,81	26,21	14,05	9,43
	500x10	55,96	26,70	14,10	9,45
	550x10	65,96	26,92	14,13	9,46
Kilnojamojo stiebo − bokšto kampo tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų mažinimas					
L_{eff}, m	85°	69,74	27,12	14,26	9,55
	80°	57,14	24,17	12,83	8,86
	75°	42,95	24,83	13,30	9,07
	70°	36,02	24,74	13,65	9,25
	65°	36,89	23,61	14,43	9,75
Kilnojamojo stiebo − bokšto tarpatramio tarp žiedų mažinimas					
L_{eff}, m	10	44,99	26,27	14,12	9,45
	5	44,89	26,23	14,06	9,43
	3,33	44,81	26,21	14,05	9,43
	2,5	44,79	26,57	14,04	9,43
	2	44,74	26,19	14,03	9,43

3.2 lentelė. Pabaiga

Kilnojamojo stiebo − bokšto žiedų skersmens didinimas					
L_{eff},m	0,6	44,67	26,06	14,07	9,43
	0,8	44,81	26,21	14,05	9,43
	1,0	45,14	26,39	14,04	9,44
	1,2	45,58	26,58	14,06	9,45
	1,4	46,14	26,78	14,08	9,47

Iš 3.2 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad, kai kilnojamojo stiebo − bokšto konstrukcija yra įtvirtinta lanksčiai, jos kamieno efektyvieji ilgiai, pagal komponuojamųjų parametrų keitimo tyrimą, pasiskirsto skirtingai. Pirmasis tirtas komponuojamasis parametras − kamieno skerspjūvio didinimas. Atlikus tyrimą matyti, kad didinat kamieno skerspjūvį, jo efektyvusis ilgis taip pat didėja. Kitas parametras, pagal kurį tirtas kilnojamasis stiebas − bokštas, yra kampo tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų mažinimas. Atlikus tyrimą matyti, kad mažinant minėtąjį kampą mažėja ir kamieno efektyvusis ilgis. Trečiasis parametras yra kilnojamojo stiebo − bokšto tarpatramio tarp žiedų mažinimas. Atlikus šį tyrimą matyti, kad mažinant tarpatramį tarp žiedų nežymiai mažėja konstrukcijos kamieno efektyvusis ilgis. Ketvirtasis parametras yra kilnojamojo stiebo − bokšto žiedų skersmens didinimas. Atlikus šį tyrimą paaiškėjo, kad kamieno efektyvusis ilgis didėja didinant žiedų skersmenį.

Lyginant standžiai ir lanksčiai įtvirtintos kilnojamojo stiebo − bokšto konstrukcijos pastovumą ir patikrintą efektyvųjį ilgį matyti, kad abiejų tipų konstrukcijų efektyvieji ilgiai mažėja didėjant kritiniai apkrovai. Skirtumas tarp konstrukcijų tas, kad standžiai įtvirtinta konstrukcija tam, kad pasiektų pirmąją klupumo formą, gali būti žymiai aukštesnė, nei lanksčiai įtvirtinta kilnojamojo stiebo − bokšto konstrukcija, todėl, žiūrint iš konstrukcijos pastovumo pusės, rekomenduojama naudoti standžiai įtvirtintą kilnojamojo stiebo − bokšto konstrukciją.

IŠVADOS

1. Ištyrus kilnojamojo stiebo − bokšto konstrukcijos elgseną, kai keičiamas komponuojamasis parametras yra kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, pastebėta, kad mažiausios konstrukcijos kamieno įrąžos ir deformacijos pasireiškia, kai minėtasis kampas yra mažiausias − 65°.

2. Palyginus standžiai ir lanksčiai įtvirtintą kilnojamojo stiebo − bokšto kamiene atsirandančias įrąžas ir deformacijas, matyti, kad lanksčiai įtvirtintame konstrukcijos kamiene susidaro mažesni lenkimo momentai, kai keičiamas kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų. Bet žiūrint į viršūnės poslinkį ir posūkio kampą, matyti, kad lanksčiai įtvirtintas kamieno konstrukcija su atotampomis gali sudaryti ne didesnį nei 70° kampą, o standžiai įtvirtintas konstrukcijos kamienas su atotampomis gali sudaryti ne didesnį nei 80° kampą.

3. Nagrinėjant kilnojamojo stiebo − bokšto įrąžas ir deformacijas, kai didinamas kamieno skerspjūvis pastebėta, kad šio komponuojamojo parametro keitimas daro skirtingą įtaką standžiai ir lanksčiai įtvirtinto kamieno lenkimo momentams. Kai kamienas įtvirtintas standžiai, aiškiai matyti, kad, didinant jo skerspjūvį, didėja ties atramos tašku susitelkę lenkimo momentai, o kai kamienas įtvirtintas lanskčiai šio komponuojamojo parametro keitimas įtakos kamiene susidarantiems lenkimo momentams beveik neturi. Įdomu tai, kad tiek standžiai įtvirtintame kilnojamojo stiebo − bokšto kamiene, tiek įtvirtintame lanksčiai mažėja lenkimo momentų šuolis ties žiedų pritvirtinimo taškais.

4. Nagrinėjant konstrukcijos kamieno viršūnės poslinkį pastebėta, kad lanksčiai įtvirtinto kamieno viršūnės poslinkis beveik nesikeičia didinant kamieno skerspjūvį, bet nei viena iš gautų reikšmių neatitinka standarte leidžiamų viršūnės poslinkio reikšmių, kai tuo tarpu standžiai įtvirtinto konstrukcijos kamieno viršūnės poslinkis mažėja didinant kamieno skerspjūvį ir atitinka leistinas reikšmes. Todėl, galima daryti išvadą, kad šiuo atveju tinkamesnis yra standžiai įtvirtintas kilnojamojo − stiebo bokšto kamienas, nors lenkimo momentai net tris kartus mažesnis, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai. Bet jei norima projektuoti lanksčiai įtvirtinto kamieno konstrukciją reikėtų imtis papildomų priemonių viršūnės poslinkiui suvaldyti.

5. Atlikus tyrimą, kai keičiamas žiedų, prie kurių tvirtinamos atotampos, skersmuo pastebėta, kad tiek standžiai, tiek lanksčiai įtvirtintą kilnojamojo stiebo − bokšto kamieną šio

komponuojamojo parametro keitimas veikia skirtingai. Standžiai įtvirtintame konstrukcijos kamiene matyti, kad didinant žiedų skersmenį didėja lenkimo momentų šuolis ties žiedų pritvirtinimo taškais. Todėl geriau laikytis rekomendacijos, kad itin didelis žiedų skersmuo nėra tinkamas, nors, žiūrint iš viršūnės poslinkio pusės, didesnis žiedų skersmuo lemia mažesnį konstrukcijos viršūnės poslinkį, kai kamienas įtvirtintas standžiai, o kadangi standžiai įtvirtintos kamieno viršūnės poslinkis neviršyja normose numatytų reikalvimų, nė su vienu tirtu žiedų skersmeniu, galima sakyti, kad tinkami visi tirti žiedų skersmenys (nuo 0,6 m iki 1,4 m).

6. Kai kilnojamojo stiebo − bokšto kamienas įtvirtintas lanksčiai susidarantys lenkimo momentai, didinant žiedų skerspjūvį, beveik tokie patys, tik konstrukcijos viršūnėje atsiranda lenkimo momentas, kai žiedų skersmuo 1 m, 1,2 m arba 1,4 m, todėl, esant lanksčiam konstrukcijos kamieno įtvirtinimui, rekomenduojamos žiedų skersmens reikšmės yra 0,6 m ir 0,8 m. Nagrinėjant lanksčiai įtvirtinto kamieno viršūnės poslinkius matyti, kad didėjant žiedų skersmeniui didėja viršūnės poslinkis, bet visais nagrinėtais atvejais jis per didelis ir neatitinka numatytų reikalavimų, todėl norint statyti tokią kilnojamojo stiebo − bokšto , kai jos kamienas įtvirtintas lanksčiai, reikėtų imtis papildomų priemonių viršūnės deformacijoms suvaldyti.

7. Kitas komponuojamasis kilnojamojo stiebo − bokšto parametras, pagal kurį nagrinėta konstrukcija, yra tapratramio tarp žiedų mažinimas arba jų skaičiaus didinimas. Atlikus tyrimą matyti, kad šis komponuojamasi parametras didelės reikšmės kamiene atsirandančioms įrąžoms neturi. Viena iš rekomendacijų būtų nenaudoti dviejų žiedų (10 m tarpatramis tarp žiedų) standžiai įtvirtinto kamieno konstrukcijai, nes jo viršūnėje atsiranda papildomas lenkimo momentas, kurio ten neturėtų būti. Ta pati rekomendacija galioja ir lanksčiai įtvrtinto kamieno konstrukcijai, tik šiuo atveju siūloma naudoti 3,33 m (4 žiedai), 2,5 m (5 žiedai) arba 2 m (6 žiedai) tarpatramius tarp žiedų. Žiūrint iš viršūnės deformacijos pusės reiktų paminėti, kad norint taikyti lanksčiai įtvirtinto kamieno konstrukciją reiktų imtis papildomų priemonių viršūnės poslinkiui sumažinti, nes dabar jis neatitinka reikalavimų.

8. Kitas itin svarbus komponuojamasi parametras kilnojamiesiems stiebams − bokštams − atotampų įtempimas. Atlikus tyrimą, kai konstrukcijos kamienas įtvirtintas standžiai, pastebėta, kad palaipsniui didinant atotampų įtempimą lenkimo momentai, ties konstrukcijos atramos mazgu, mažėja kol stabilizuojasi, ir tai įvyksta, kai atotampų įtempimas pasiekia 200 MPa ribą. Nagrinėjant kilnojamojo stiebo − bokšto viršūnė deformacijas

pastebėta labai panaši tendencija: viršūnės poslinkis mažėja didinant atotampų įtempimą ir stabilizuojasi jam pasiekus 200 MPa, todėl priimama rekomendacija, kad tai tinkamiausia išankstinio atotampų įtempimo reikšmė.

9. Nagrinėjant kilnojamojo stiebo - bokšto pastovumą pastebėta, kad efektyvusis kamieno ilgis (iki pirmojo žiedo tvirtinimo taško) tiek standžiai, tiek lanksčiai įtvirtinto kamieno atžvilgiu labai panašus. Pastebėtos tokios tendencijos: kai yra mažinamas kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, efektyvusis kamieno ilgis mažėja; kai yra didinamas kamieno skerspjūvis, efektyvusis kamieno ilgis taip pat didėja; kai yra mažinamas tarpatramis tarp kamieno, efektyvusis ilgis nežymiai mažėja; kai yra didinamas žiedų skersmuo, efektyvusis kamieno ilgis taip pat didėja.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Barzdžiukienė L. D. ir kt. 2005. *Baigiamasis studijų darbas. Kalbininkų patarimai: teorija ir tvarkyba*. 2-asis pataisytas ir papildytas leidimas. Vilnius: Technika.

„Belmast“ produktų katalogas [interaktyvus]. 2006. [žiūrėta 2017− 05 −13]. Prieiga per internetą: <www.belmast.lv>.

BS EN 10219-2:2006. *Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels. Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties.* 2006.

„Calzavara S.p.A.“ produktų katalogas [interaktyvus]. 2009. [žiūrėta 2016−12−15]. Prieiga per internetą: < www.calzavara.it>.

DePumpo M. P. *Steelworker, Volume 2.* Naval education and training professional development and technology center. 1996. 233 p.

Eurokodas 3. *Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės.* 2009.

Eurokodas 3. *Plieninių konstrukcijų projektavimas. 3-1 dalis. Bokštai, stiebai ir kaminai. Bokštai ir stiebai.* 2009.

„Fujian Jianshi Electric Power Line Materials Co., Ltd“ produktų katalogas [interaktyvus]. 2016. [žiūrėta 2017 - 05 - 20]. Prieiga per internetą: < www.js-steel-tower.com>.

Liberman P. L. *Portable telescoping tower assembly. United States Patent. US 7574832 B1.* 2009.

Smith . B. W, *Communication Structures*, Thomas Telford, London, United Kingdom, 2007.

STR 2.05.04:2003. *Poveikiai ir apkrovos*. 2006.

„Rohan products“ brėžinys. [interaktyvus]. 1969. [žiūrėta 2017− 05 −24]. Prieiga per internetą: <www.srgclub.org>.

Šiame priede pateikti detalūs skaičiavimų rezultatai.

A. 1 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai mažinant kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil.Nr.	Stiebo aukštis (m)	Lenkimo momentas (M_y)				
		85°	80°	75°	70°	65°
1	30	0	0	0	0	0
2	29	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
3	28	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19
4	27	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99
5	26,6	11,03	11,03	11,03	11,03	11,03
6	26	14,94	14,94	14,94	14,95	14,95
7	25	23,3	23,29	23,29	23,3	23,3
8	24	33,41	33,4	33,4	33,41	33,41
9	23,3	41,16	41,16	41,16	41,16	41,16
10	23	43,11	42,95	43,3	43,18	43,33
11	22	56,78	56,62	56,7	56,85	57
12	21	72,19	72,04	72,11	72,76	72,42
13	20	89,35	89,20	89,27	89,42	89,58
14	19	74,9	62,39	57,59	56,69	57,53
15	18	89,7	68,49	56,99	51,5	49,4
16	17	106,23	76,34	58,13	48,07	43,03
17	16	124,48	85,93	61,03	46,39	38,41
18	15	144,46	97,25	65,67	46,46	35,54
19	14	166,15	110,31	72,05	48,28	34,44
20	13	189,55	125,08	80,18	51,86	35,08
21	12	214,64	141,58	90,04	57,18	37,49
22	11	241,41	159,8	101,64	64,25	41,65
23	10	269,86	179,71	114,97	73,07	47,57
24	9	299,98	201,33	130,02	83,63	55,23
25	8	331,75	224,64	146,8	95,93	64,65
26	7	365,16	249,63	165,29	109,96	75,82
27	6	400,2	276,3	185,48	125,73	88,73
28	5	436,86	304,62	207,38	143,22	103,38
29	4	475,11	334,6	230,97	162,42	119,76
30	3	514,96	366,21	256,24	183,34	137,87
31	2	556,37	399,46	283,18	205,96	157,71
32	1	599,34	434,31	311,79	230,28	179,26
33	0	643,85	470,77	342,05	256,29	202,52

A. 2 lentelė. Stiebo – bokšto lenkimo momentai mažinant kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil.Nr.	Stiebo aukštis (m)	Lenkimo momentas (M_y)				
		85°	80°	75°	70°	65°
1	30	0	0	0	0	0
2	29	-0,25	0,31	0,52	0,64	0,71
3	28	2,56	3,12	3,34	3,45	3,53
4	27	7	7,57	7,79	7,9	7,98
5	26,6	8,88	9,45	9,67	9,79	9,86
6	26	7,66	10,5	11,57	12,15	12,51
7	25	15,39	18,23	19,3	19,88	20,24
8	24	24,74	27,58	28,65	29,23	29,59
9	23,3	31,31	34,76	35,83	36,41	36,77
10	23	11,91	25,42	30,52	33,28	34,99
11	22	24,58	38,06	43,15	45,91	47,62
12	21	38,85	52,32	57,41	60,17	61,88
13	20	54,71	68,2	73,7	76,05	77,77
14	19	-68,56	-7,07	16,09	28,6	36,35
15	18	-80,86	-21,76	0,35	12,27	19,65
16	17	-91,42	-34,8	-13,75	-2,43	4,58
17	16	-100,23	-46,19	-26,21	-15,49	-8,86
18	15	-107,27	-55,91	-37,02	-26,91	-20,66
19	14	-112,53	-63,95	-46,18	-36,68	-30,82
20	13	-116,01	-70,32	-53,69	-44,81	-39,34
21	12	-117,7	-75,01	-59,53	-51,28	-46,21
22	11	-117,59	-78,01	-63,71	-56,11	-51,43
23	10	-115,7	-79,32	-66,23	-59,28	-55
24	9	-112,02	-78,94	-67,09	-60,79	-56,92
25	8	-106,56	-76,88	-66,27	-60,65	-57,19
26	7	-99,32	-73,13	-63,79	-58,85	-55,81
27	6	-90,31	-67,69	-59,65	-55,39	-52,78
28	5	-79,55	-60,58	-53,84	-50,28	-48,1
29	4	-67,05	-51,79	-46,38	-43,52	-41,77
30	3	-52,82	-41,33	-37,26	-35,11	-33,79
31	2	-36,89	-29,9	-26,48	-25,05	-24,17
32	1	-19,28	-15,42	-14,06	-13,34	-12,9
33	0	0	0	0	0	0

A. 3 lentelė. Stiebo – bokšto poslinkiai mažinat kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Poslinkiai (Ux), cm				
		85°	80°	75°	70°	65°
1	30	40,2	28,4	19,8	14,2	10,7
2	26,6	34,3	24,1	16,7	11,9	9
3	23,3	28,4	19,9	13,8	9,7	7,3
4	20	22,6	15,8	10,9	7,7	5,7
5	15	14,4	10,1	7	5	3,7
6	10	7,2	5,1	3,6	2,6	2
7	5	2	1,5	1	0,8	0,6
8	0	0	0	0	0	0

A. 4 lentelė. Stiebo – bokšto poslinkiai mažinat kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Poslinkiai (Ux), cm				
		85°	80°	75°	70°	65°
1	30	207,3	79	39,3	23,3	15,7
2	26,6	184,7	70,4	34,9	20,7	13,9
3	23,3	162,2	61,8	30,6	18,1	12,1
4	20	139,8	53,3	26,5	15,6	10,5
5	15	105,9	40,7	20,3	12,1	8,2
6	10	71,3	27,6	14	8,5	5,8
7	5	35,9	14	7,2	4,4	3,1
8	0	0	0	0	0	0

A. 5 lentelė. Stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampas mažinant kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Posūkio kampas (Ry), °				
		85°	80°	75°	70°	65°
1	30	1,03	0,74	0,52	0,40	0,29
2	26,6	1,03	0,74	0,52	0,40	0,29
3	23,3	1,03	0,69	0,52	0,34	0,29
4	20	0,97	0,69	0,46	0,34	0,23
5	15	0,92	0,63	0,40	0,29	0,23
6	10	0,74	0,52	0,34	0,23	0,17
7	5	0,46	0,29	0,23	0,17	0,11
8	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A. 6 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas mažinant kampą tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo mazgų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Posūkio kampas (Ry), °				
		85°	80°	75°	70°	65°
1	30	3,90	1,49	0,74	0,46	0,29
2	26,6	3,90	1,49	0,74	0,46	0,29
3	23,3	3,84	1,49	0,74	0,46	0,29
4	20	3,84	1,43	0,69	0,40	0,29
5	15	3,90	1,49	0,69	0,40	0,29
6	10	4,01	1,55	0,74	0,46	0,29
7	5	4,07	1,60	0,80	0,52	0,34
8	0	4,13	1,60	0,80	0,52	0,34

A. 7 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil.Nr.	Stiebo aukštis (m)	Lenkimo momentas (M_y)				
		350x6	400x8	450x8	500x10	550x10
1	30	0	0	0	0	0
2	29	0,93	1,08	1,14	1,19	1,21
3	28	3,98	4,12	4,19	4,23	4,26
4	27	8,78	8,93	8,99	9,04	9,07
5	26,6	9,21	10,03	11,03	10,67	10,82
6	26	13,76	14,58	14,94	15,21	15,34
7	25	22,12	22,93	23,29	23,56	23,69
8	24	32,23	33,04	33,4	33,67	33,81
9	23,3	39,97	40,79	41,15	41,43	41,56
10	23	39,89	42,01	43,03	43,86	44,31
11	22	53,59	55,69	56,70	57,52	57,97
12	21	69	71,11	72,11	72,94	73,39
13	20	86,12	88,25	89,27	90,01	90,56
14	19	41,84	50,32	57,59	66,15	72,1
15	18	35,01	46,84	56,99	68,93	77,25
16	17	29,9	45,11	58,13	73,47	84,15
17	16	26,53	45,12	61,03	79,77	92,8
18	15	24,9	46,86	65,67	87,81	103,21
19	14	25	50,35	72,05	97,6	115,37
20	13	26,84	55,58	80,18	109,14	129,28
21	12	30,42	62,54	90,04	122,42	144,95
22	11	35,73	71,24	101,64	137,44	162,35
23	10	42,77	81,66	114,97	154,21	181,51
24	9	51,52	93,8	130,02	172,7	202,4
25	8	61,99	107,65	146,8	192,93	225,03
26	7	74,15	123,21	165,29	214,88	249,4
27	6	87,99	140,46	185,48	238,56	275,49
28	5	103,5	159,4	207,38	263,95	303,32
29	4	120,65	180,01	230,97	291,05	332,86
30	3	139,44	202,29	256,24	319,05	364,13
31	2	159,83	226,22	283,18	350,36	394,11
32	1	181,8	251,78	311,79	382,56	431,8
33	0	205,33	278,96	342,05	416,44	468,19

A. 8 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil.Nr.	Stiebo aukštis (m)	Lenkimo momentas (M_y)				
		350x6	400x8	450x8	500x10	550x10
1	30	0	0	0	0	0
2	29	-0,02	0,25	0,01	0,52	0,58
3	28	2,8	3,07	3,25	3,34	3,4
4	27	7,24	7,52	7,7	7,79	7,85
5	26,6	9,13	9,4	9,59	9,67	9,73
6	26	9,66	10,63	11,29	11,57	11,78
7	25	17,38	18,36	19,01	19,3	19,51
8	24	26,74	27,71	28,37	28,65	28,86
9	23,3	33,9	34,89	35,54	35,83	36,04
10	23	27,26	28,94	30,04	30,52	30,89
11	22	39,93	41,59	42,68	43,15	43,5
12	21	54,19	55,85	56,94	57,41	57,76
13	20	70,03	77,71	72,82	73,3	73,64
14	19	15,47	15,81	16,01	16,09	16,15
15	18	-0,96	-0,23	0,19	0,35	0,47
16	17	-15,75	-14,64	-14	-13,75	-13,57
17	16	-28,87	-27,4	-26,55	-26,22	-25,97
18	15	-40,29	-38,49	-37,44	-37,02	-36,72
19	14	-49,99	-47,89	-46,67	-46,18	-45,84
20	13	-57,95	-55,59	-54,23	-53,69	-53,3
21	12	-64,14	-61,6	-60,12	-59,53	-59,11
22	11	-68,56	-65,88	-64,34	-63,71	-63,27
23	10	-71,19	-68,45	-66,87	-66,27	-65,78
24	9	-72,03	-69,3	-67,72	-67,09	-66,64
25	8	-71,08	-68,43	-66,89	-66,27	-65,83
26	7	-68,34	-65,83	-64,38	-63,79	-63,38
27	6	-63,81	-61,52	-60,19	-59,65	-59,27
28	5	-57,51	-55,49	-54,32	-53,84	-53,51
29	4	-49,45	-47,76	-46,78	-46,38	-46,1
30	3	-39,64	-38,33	-37,57	-37,26	-37,04
31	2	-28,11	-27,22	-26,69	-26,48	-26,34
32	1	-14,89	-14,44	-14,17	-14,06	-13,99
33	0	0	0	0	0	0

A. 9 lentelė. Stiebo – bokšto poslinkiai didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Poslinkiai (Ux), cm				
		350x6	400x8	450x8	500x10	550x10
1	30	28,5	23,4	19,8	15,6	12,7
2	26,6	23,9	19,8	16,7	13,2	10,7
3	23,3	19,5	16,2	13,8	10,9	8,9
4	20	15,5	12,9	10,9	8,6	7
5	15	10,2	8,3	7	5,5	4,5
6	10	5,5	4,3	3,6	2,8	2,3
7	5	1,7	1,3	1	0,8	0,6
8	0	0	0	0	0	0

A. 10 lentelė. Stiebo – bokšto poslinkiai didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Poslinkiai (Ux), cm				
		350x6	400x8	450x8	500x10	550x10
1	30	38,7	39,1	39,2	39,3	39,3
2	26,6	33,9	34,5	34,8	34,9	34,9
3	23,3	30,2	30,4	30,6	30,6	30,6
4	20	27	26,5	26,5	26,4	26,4
5	15	22,8	21,4	20,3	20,1	20
6	10	17,4	15,5	14	13,7	13,5
7	5	9,6	8,3	7,2	6,9	6,8
8	0	0	0	0	0	0

A. 11 lentelė. Stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampas didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Posūkio kampas (Ry), °				
		350x6	400x8	450x8	500x10	550x10
1	30	0,80	0,63	0,52	0,40	0,34
2	26,6	0,80	0,63	0,52	0,40	0,34
3	23,3	0,74	0,57	0,52	0,40	0,34
4	20	0,63	0,57	0,46	0,40	0,29
5	15	0,57	0,52	0,40	0,34	0,29
6	10	0,52	0,40	0,34	0,29	0,23
7	5	0,34	0,29	0,23	0,17	0,11
8	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A. 12 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas didinant kamieno skerspjūvį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Posūkio kampas (Ry), °				
		350x6	400x8	450x8	500x10	550x10
1	30	0,69	0,69	0,74	0,74	0,74
2	26,6	0,63	0,69	0,74	0,74	0,74
3	23,3	0,63	0,69	0,74	0,74	0,74
4	20	0,52	0,63	0,74	0,74	0,74
5	15	0,52	0,63	0,69	0,74	0,74
6	10	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
7	5	1,03	0,92	0,80	0,80	0,80
8	0	1,15	0,97	0,80	0,80	0,80

A. 13 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil.Nr.	Stiebo aukštis (m)	Lenkimo momentas (M_y)				
		0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
1	30	0	0	0	0	0
2	29	1,21	1,14	1,03	0,84	0,52
3	28	4,25	4,19	4,08	3,89	3,56
4	27	9,06	8,99	8,89	8,7	8,37
5	26,6	10,75	10,4	10,92	10,73	10,4
6	26	15,3	14,94	14,38	13,51	12,22
7	25	23,65	23,29	22,73	21,86	20,57
8	24	33,76	33,4	32,84	31,97	30,68
9	23,3	41,51	41,15	40,59	39,73	38,44
10	23	44,60	43,03	40,63	37,34	33,21
11	22	58,27	56,70	54,30	51,00	46,88
12	21	73,69	72,11	69,71	66,42	62,3
13	20	90,84	89,27	86,87	83,58	79,46
14	19	65,2	57,59	50,06	42,65	35,35
15	18	64,15	56,99	49,91	42,97	36,15
16	17	64,87	58,13	51,52	45,04	38,71
17	16	67,33	61,03	54,87	48,86	43,02
18	15	71,53	65,67	59,96	54,43	49,08
19	14	77,47	72,05	66,81	61,75	56,89
20	13	85,15	80,18	75,4	70,82	66,45
21	12	94,56	90,04	85,72	81,63	77,75
22	11	105,71	101,64	97,79	94,17	90,8
23	10	118,59	114,97	111,59	108,45	105,57
24	9	133,2	130,02	127,11	124,46	122,08
25	8	149,52	146,8	144,35	142,19	140,31
26	7	167,55	165,29	163,31	161,64	160,25
27	6	187,29	185,48	183,98	182,79	181,91
28	5	208,73	207,38	206,35	205,65	205,26
29	4	231,87	230,97	230,41	230,19	230,31
30	3	265,68	256,24	256,15	256,42	257,04
31	2	283,17	283,18	283,57	284,33	285,45
32	1	311,32	311,79	312,65	313,9	315,52
33	0	341,13	342,05	343,38	345,12	347,24

A. 14 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentai didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil.Nr.	Stiebo aukštis (m)	Lenkimo momentas (M_y)				
		0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
1	30	0	0	-2,07	-4,6	-8,05
2	29	1,03	0,52	-0,89	-3,42	-6,88
3	28	3,85	3,34	1,92	-0,62	-4,06
4	27	8,3	7,79	6,37	3,84	0,39
5	26,6	10,8	9,67	8,26	5,73	-10,33
6	26	13,64	11,57	7,44	1,35	-6,13
7	25	21,37	19,3	15,17	9,07	1,59
8	24	30,72	28,65	25,52	18,42	10,95
9	23,3	37,9	35,83	31,7	25,6	18,13
10	23	37,38	30,52	21,13	10,15	-1,62
11	22	50,02	43,15	33,76	22,78	11,01
12	21	64,28	57,41	48,02	37,04	25,27
13	20	80,16	73,3	63,91	52,93	41,16
14	19	28,44	16,09	3,76	-8,57	-20,89
15	18	12,09	0,35	-11,36	-23,08	-34,78
16	17	-2,64	-13,75	-24,84	-35,93	-47,02
17	16	-15,73	-26,21	-36,68	-47,14	-57,6
18	15	-27,17	-37,02	-46,86	-56,69	-66,52
19	14	-36,97	-46,18	-55,39	-64,58	-73,77
20	13	-45,11	-53,69	-62,25	-70,81	-79,36
21	12	-51,6	-59,53	-67,45	-75,36	-83,27
22	11	-56,43	-63,71	-70,99	-78,25	-85,51
23	10	-59,6	-66,23	-72,85	-79,47	-86,08
24	9	-61,11	-67,09	-73,05	-79	-84,97
25	8	-60,95	-66,27	-71,58	-76,89	-82,19
26	7	-59,14	-63,79	-68,45	-73,09	-77,74
27	6	-55,65	-59,65	-63,64	-67,63	-71,61
28	5	-50,51	-53,84	-57,17	-60,5	-63,82
29	4	-43,71	-46,38	-49,04	-51,71	-54,37
30	3	-35,26	-37,26	-39,26	-41,26	-43,25
31	2	-25,15	-26,48	-27,82	-29,15	-30,48
32	1	-13,4	-14,06	-14,73	-15,4	-16,06
33	0	0	0	0	0	0

A. 15 lentelė. Stiebo – bokšto poslinkiai didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Poslinkiai (Ux), cm				
		0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
1	30	20,1	19,8	19,2	19,2	18,9
2	26,6	17	16,7	16,5	16,3	16,1
3	23,3	13,9	13,8	13,6	13,4	13,3
4	20	11	10,9	10,8	10,7	10,7
5	15	7,1	7	7	7	6,9
6	10	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
7	5	1	1	1,1	1,1	1,1
8	0	0	0	0	0	0

A. 16 lentelė. Stiebo – bokšto poslinkiai didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Poslinkiai (Ux), cm				
		0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
1	30	38,9	39,2	39,7	40,4	41,3
2	26,6	34,6	34,9	35,4	36,1	37,1
3	23,3	30,2	30,6	31,2	31,9	32,8
4	20	26	26,4	27	27,7	28,6
5	15	19,9	20,3	20,8	21,4	22,2
6	10	13,7	14	14,3	14,8	15,3
7	5	7	7,2	7,4	7,6	7,9
8	0	0	0	0	0	0

A. 17 lentelė. Stiebo – bokšto viršūnės posūkio kampas didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Posūkio kampas (Ry), °				
		0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
1	30	0,52	0,52	0,52	0,52	0,46
2	26,6	0,52	0,52	0,52	0,52	0,46
3	23,3	0,52	0,52	0,52	0,46	0,46
4	20	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
5	15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
6	10	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
7	5	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
8	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A. 18 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas didinant žiedų skersmenį, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Posūkio kampas (Ry), °				
		0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
1	30	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
2	26,6	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
3	23,3	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
4	20	0,69	0,69	0,69	0,69	0,74
5	15	0,69	0,69	0,74	0,74	0,74
6	10	0,74	0,74	0,74	0,80	0,80
7	5	0,80	0,80	0,80	0,86	0,86
8	0	0,80	0,80	0,86	0,86	0,92

A. 19 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentas mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil.Nr.	Stiebo aukštis (m)	Lenkimo momentas (M_y)				
		10	5	3,33	2,5	2
1	30	-1,32	0	0	0	0
2	29	-0,02	0,99	1,14	1,19	1,22
3	28	3,05	4,04	4,19	4,24	4,04
4	27,5	5,27	6,24	6,37	6,42	6,2
5	27	7,89	8,85	8,99	8,7	8,85
6	26,6	9,93	11,29	11,03	10,76	15,42
7	26	11,49	15,43	14,94	15,28	15
8	25	22,85	23,76	23,29	22,9	23,35
9	24	32,97	31,85	33,4	33,03	32,73
10	23,3	40,7	39,98	41,16	40,74	40,83
11	23	44,85	43,75	43,03	44,9	44,62
12	22,5	51,38	50,31	49,68	49,1	58,26
13	22	58,48	57,41	56,7	56,15	55,69
14	21	73,86	72,81	72,11	71,58	71,12
15	20	90,98	89,95	89,27	88,75	88,30
16	19	57,59	57,59	57,59	57,58	57,58
17	18	56,96	56,99	56,99	56,98	56,98
18	17	58,14	58,14	58,13	58,13	58,13
19	16	61,04	61,03	61,03	61,02	61,02
20	15	65,68	65,67	65,67	65,66	65,66
21	14	72,07	72,06	72,05	72,05	72,04
22	13	80,2	80,19	80,18	80,17	80,17
23	12	90,06	90,05	90,04	90,03	90,03
24	11	101,66	101,65	101,64	101,63	101,63
25	10	114,99	114,98	114,97	114,96	114,95
26	9	130,05	130,03	130,02	130,01	130,01
27	8	146,83	146,81	146,8	146,79	146,78
28	7	165,32	165,3	165,29	165,28	165,27
29	6	185,52	185,5	185,48	185,47	185,46
30	5	207,42	207,39	207,38	207,37	207,36
31	4	231,01	230,98	230,97	230,96	230,94
32	3	256,28	256,26	256,24	256,23	256,21
33	2	283,23	283,2	283,18	283,17	283,16
34	1	311,84	311,81	311,79	311,78	311,77
35	0	342,1	342,07	342,05	342,04	342,03

A. 20 lentelė. Stiebo − bokšto lenkimo momentas mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil.Nr.	Stiebo aukštis (m)	Lenkimo momentas (M_y)				
		10	5	3,33	2,5	2
1	30	-5,43	-1,59	0	0	0
2	29	-4,25	-0,41	0,52	0,85	0,98
3	28	-1,42	2,41	3,34	3,66	-0,19
4	27,5	0,58	4,43	5,35	5,68	5,31
5	27	3,04	6,86	7,79	7,17	7,78
6	26,6	4,9	8,72	9,67	9,05	9,66
7	26	9,13	12,94	11,57	13,26	12,64
8	25	16,86	20,66	19,3	20,98	20,37
9	24	26,22	22,34	28,65	27,41	26,28
10	23,3	33,77	29,52	35,83	34,62	33,45
11	23	37,21	33,34	30,52	38,4	37,27
12	22,5	43,32	39,47	36,63	44,51	43,39
13	22	49,83	45,96	43,15	40,95	39,14
14	21	64,07	60,22	57,41	55,22	53,41
15	20	79,94	76,1	73,3	71,1	69,3
16	19	16,10	16,10	16,09	16,09	16,09
17	18	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35
18	17	-13,74	-13,74	-13,75	-13,75	-13,75
19	16	-26,2	-26,2	-26,21	-26,21	-26,21
20	15	-37,01	-37,02	-37,02	-37,02	-37,03
21	14	-46,17	-46,18	-46,18	-46,18	-46,19
22	13	-53,68	-53,68	-53,69	-53,69	-53,69
23	12	-59,52	-59,53	-59,53	-59,53	-59,54
24	11	-63,71	-63,71	-63,71	-63,71	-63,72
25	10	-66,23	-66,23	-66,23	-66,23	-66,24
26	9	-67,08	-67,08	-67,08	-67,08	-67,09
27	8	-66,27	-66,27	-66,27	-66,27	-66,27
28	7	-63,79	-63,79	-63,79	-63,79	-63,8
29	6	-59,65	-59,65	-59,65	-59,65	-59,65
30	5	-53,84	-53,84	-53,84	-53,84	-53,85
31	4	-46,38	-46,38	-46,38	-46,38	-46,38
32	3	-37,26	-37,26	-37,26	-37,26	-37,26
33	2	-26,48	-26,48	-26,48	-26,48	-26,48
34	1	-14,06	-14,06	-14,06	-14,06	-14,06
35	0	0	0	0	0	0

A. 21 lentelė. Stiebo − bokšto poslinkiai mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Poslinkiai (Ux), cm				
		10	5	3,33	2,5	2
1	30	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
2	28	-	-	-	-	17,9
3	27,5	-	-	-	17,5	-
4	26,6	-	-	16,7	-	-
5	26	-	-	-	-	16,1
6	25	15,3	15,2	15,2	15,2	15,2
7	24	-	-	-	-	14,4
8	23,3	-	-	13,8	-	-
9	22,5	-	-	-	13	-
10	22	-	-	-	-	12,6
11	20	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
12	15	7	7	7	7	7
13	10	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
14	5	1	1	1	1	1
15	0	0	0	0	0	0

A. 22 lentelė. Stiebo − bokšto poslinkiai mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Poslinkiai (Ux), cm				
		10	5	3,33	2,5	2
1	30	39,4	39,3	39,2	39,1	39,1
2	28	-	-	-	-	36,5
3	27,5	-	-	-	35,91	-
4	26,6	-	-	34,9	-	-
5	26	-	-	-	-	33,9
6	25	32,9	32,8	32,7	32,7	32,6
7	24	-	-	-	-	31,4
8	23,3	-	-	30,6	-	-
9	22,5	-	-	-	29,5	-
10	22	-	-	-	-	28,8
11	20	26,6	26,5	26,4	26,4	26,3
12	15	20,4	20,4	20,3	20,3	20,3
13	10	14	14	14	13,9	13,9
14	5	7,2	7,2	7,2	7,2	7,1
15	0	0	0	0	0	0

A. 23 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas standžiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Posūkio kampas (Ry), °				
		10	5	3,33	2,5	2
1	30	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
2	28	-	-	-	-	0,52
3	27,5	-	-	-	0,52	-
4	26,6	-	-	0,52	-	-
5	26	-	-	-	-	0,52
6	25	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
7	24	-	-	-	-	0,52
8	23,3	-	-	0,52	-	-
9	22,5	-	-	-	0,52	-
10	22	-	-	-	-	0,52
11	20	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
12	15	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
13	10	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
14	5	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
15	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A. 24 lentelė. Stiebo − bokšto viršūnės posūkio kampas mažinant tarpatramį tarp žiedų, kai kamienas įtvirtintas lanksčiai

Eil. Nr.	Aukštis (m)	Posūkio kampas (Ry), °				
		10	5	3,33	2,5	2
1	30	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
2	28	-	-	-	-	0,74
3	27,5	-	-	-	0,74	-
4	26,6	-	-	0,74	-	-
5	26	-	-	-	-	0,74
6	25	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
7	24	-	-	-	-	0,74
8	23,3	-	-	0,74	-	-
9	22,5	-	-	-	0,74	-
10	22	-	-	-	-	0,74
11	20	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
12	15	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
13	10	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
14	5	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
15	0	0,86	0,86	0,80	0,80	0,80

A. 25 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai jo skerspjūvis didinimas, įtvirtinimas standus

Skerspjūvis	Kintamieji	Klupumo forma			
		I forma	II forma	III forma	IV forma
350x6	Max F_x, kN	145,97			
	Kritinis koef.	7,51	31,93	62,9	124,14
	F_{cr}, kN	1096,23	4660,82	9181,51	18120,72
	$L_{eff, m}$	33,64	16,32	11,62	8,27
400x8	Max F_x, kN	134,42			
	Kritinis koef.	11,98	56,64	121,33	238,58
	F_{cr}, kN	1610,35	7613,55	16309,18	32069,92
	$L_{eff, m}$	37,50	17,25	11,78	8,40
450x8	Max F_x, kN	128,5			
	Kritinis koef.	15,5	81,67	190,7	374,09
	F_{cr}, kN	1991,75	10494,6	24504,95	48070,57
	$L_{eff, m}$	41,61	18,13	11,86	8,47
500x10	Max F_x, kN	121,92			
	Kritinis koef.	21,17	127,71	318,16	621,93
	F_{cr}, kN	2581,05	15570,40	38790,07	75825,71
	$L_{eff, m}$	46,28	18,84	11,94	8,54
550x10	Max F_x, kN	116,88			
	Kritinis koef.	27,05	178,995	460,45	897,58
	F_{cr}, kN	3161,60	20920,94	53817,40	104909,15
	$L_{eff, m}$	49,59	19,28	12,02	8,61

A. 26 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai mažinamas kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo taškų, įtvirtinimas standus

Kampas	Kintamieji	Klupumo forma			
		I forma	II forma	III forma	IV forma
85°	Max F_x, kN	133,57			
	Kritinis koef.	9,29	66,42	179,7	349,76
	F_{cr}, kN	1356,06	9695,33	26230,81	51054,47
	$L_{eff, m}$	50,43	18,86	11,47	8,22
80°	Max F_x, kN	134,13			
	Kritinis koef.	12,07	71,61	182,78	358,58
	F_{cr}, kN	1622,45	9625,82	24569,29	48200,32
	$L_{eff, m}$	46,11	18,93	11,85	8,46
75°	Max F_x, kN	128,5			
	Kritinis koef.	15,5	81,67	190,7	374,09
	F_{cr}, kN	1991,75	10494,6	24504,95	48070,565
	$L_{eff, m}$	41,61	18,13	11,86	8,47
70°	Max F_x, kN	120,85			
	Kritinis koef.	18,86	96,78	200,69	391,84
	F_{cr}, kN	2299,41	11799,42	24468,12	47773,13
	$L_{eff, m}$	38,73	17,10	11,87	8,50
65°	Max F_x, kN	112,87			
	Kritinis koef.	21,55	116,30	211,79	410,31
	F_{cr}, kN	2518,76	13592,68	24754,02	47957,03
	$L_{eff, m}$	37,00	15,93	11,80	8,48

A. 27 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai mažinamas tarpatramis tarp žiedų, įtvirtinimas standus

Tarpatramis	Kintamieji	Klupumo forma			
		I forma	II forma	III forma	IV forma
10	Max F_x, kN	128,5			
	Kritinis koef.	15,48	81,56	190,32	373,1
	F_{cr}, kN	2259,62	11905,31	27781,01	54461,41
	$L_{eff, m}$	39,07	17,02	11,14	7,96
5	Max F_x, kN	128,5			
	Kritinis koef.	15,49	81,65	190,51	373,62
	F_{cr}, kN	2082,17	10975,39	25608,35	50222,00
	$L_{eff, m}$	40,70	17,73	11,61	8,29
3,33	Max F_x, kN	128,5			
	Kritinis koef.	15,5	81,67	190,7	374,09
	F_{cr}, kN	1991,75	10494,6	24504,95	48070,565
	$L_{eff, m}$	41,61	18,13	11,86	8,47
2,5	Max F_x, kN	128,5			
	Kritinis koef.	15,5	81,68	190,76	374,4
	F_{cr}, kN	1889,76	9958,43	23257,46	45646,85
	$L_{eff, m}$	42,72	18,61	12,18	8,69
2	Max F_x, kN	128,5			
	Kritinis koef.	15,5	81,68	190,79	374,47
	F_{cr}, kN	1811,64	9546,76	22299,54	43768,05
	$L_{eff, m}$	43,63	19,01	12,44	8,88

A. 28 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai didinamas žiedų skersmuo, įtvirtinimas standus

Skersmuo	Kintamieji	Klupumo forma			
		I forma	II forma	III forma	IV forma
0,6	Max F_x, kN	128,5			
	Kritinis koef.	15,22	81,87	189,74	372,58
	F_{cr}, kN	2221,66	11950,56	27696,35	54385,50
	$L_{eff, m}$	39,40	16,99	11,16	7,96
0,8	Max F_x, kN	128,5			
	Kritinis koef.	15,5	81,67	190,71	374,09
	F_{cr}, kN	2083,51	10978,08	25635,24	50285,18
	$L_{eff, m}$	40,69	17,72	11,60	8,28
1	Max F_x, kN	128,47			
	Kritinis koef.	15,79	81,46	191,79	375,9
	F_{cr}, kN	2029,015	10467,61	24645,015	48303,15
	$L_{eff, m}$	41,23	18,15	11,83	8,45
1,2	Max F_x, kN	128,41			
	Kritinis koef.	16,09	81,23	193,16	377,84
	F_{cr}, kN	1961,69	9903,56	23550,07	46066,25
	$L_{eff, m}$	41,93	18,66	12,10	8,65
1,4	Max F_x, kN	128,32			
	Kritinis koef.	16,39	80,95	194,5	379,76
	F_{cr}, kN	1915,66	9461,44	22733,16	44386,35
	$L_{eff, m}$	42,43	19,09	12,32	8,81

A. 29 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai jo skerspjūvis didinimas, įtvirtinimas lankstus

Skerspjūvis	Kintamieji	Klupumo forma			
		I forma	II forma	III forma	IV forma
350x6	Max F_x, kN	193,82			
	Kritinis koef.	6,89	12,4	33,85	73,3
	F_{cr}, kN	1335,42	2403,37	6560,81	14207,01
	$L_{eff, m}$	30,48	22,72	13,75	9,35
400x8	Max F_x, kN	193,83			
	Kritinis koef.	8,4	18,14	59,91	132,08
	F_{cr}, kN	1628,17	3516,08	11612,36	25601,07
	$L_{eff, m}$	37,30	25,38	13,97	9,41
450x8	Max F_x, kN	193,83			
	Kritinis koef.	8,86	25,9	90,17	200,085
	F_{cr}, kN	1717,334	5020,197	17477,6511	38782,48
	$L_{eff, m}$	44,81	26,21	14,05	9,43
500x10	Max F_x, kN	193,83			
	Kritinis koef.	9,11	40	143,39	319,51
	F_{cr}, kN	1765,79	7753,20	27793,28	61930,62
	$L_{eff, m}$	55,96	26,70	14,10	9,45
550x10	Max F_x, kN	193,84			
	Kritinis koef.	9,22	55,35	200,87	448,46
	F_{cr}, kN	1787,20	10729,04	38936,64	86929,49
	$L_{eff, m}$	65,96	26,92	14,13	9,46

A. 30 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai mažinamas kampas tarp kamieno ir atotampų įtvirtinimo taškų, įtvirtinimas lankstus

Kampas	Kintamieji	Klupumo forma			
		I forma	II forma	III forma	IV forma
85°	Max F_x, kN	525,27			
	Kritinis koef.	1,35	8,93	32,31	72,02
	F_{cr}, kN	709,11	4690,66	16971,47	37829,95
	$L_{eff, m}$	69,74	27,12	14,26	9,55
80°	Max F_x, kN	279,41			
	Kritinis koef.	3,78	21,13	74,93	157,2
	F_{cr}, kN	1056,17	5903,93	20936,19	43923,25
	$L_{eff, m}$	57,14	24,17	12,83	8,86
75°	Max F_x, kN	191,54			
	Kritinis koef.	9,76	29,21	101,83	218,77
	F_{cr}, kN	1869,43	5594,883	19504,518	41903,2058
	$L_{eff, m}$	42,95	24,83	13,30	9,07
70°	Max F_x, kN	143,93			
	Kritinis koef.	18,47	39,16	128,67	280,22
	F_{cr}, kN	2658,39	5636,30	18519,47	40332,06
	$L_{eff, m}$	36,02	24,74	13,65	9,25
65°	Max F_x, kN	115,64			
	Kritinis koef.	21,92	53,52	143,23	314,04
	F_{cr}, kN	2534,83	6189,05	16563,12	36315,59
	$L_{eff, m}$	36,89	23,61	14,43	9,75

A. 31 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai mažinamas tarpatramis tarp žiedų, įtvirtinimas lankstus

Tarpatramis	Kintamieji	Klupumo forma			
		I forma	II forma	III forma	IV forma
10	Max F_x, kN	193,84			
	Kritinis koef.	8,79	25,79	89,24	199,35
	F_{cr}, kN	1703,85	4999,13	17298,28	38642,00
	$L_{eff, m}$	44,99	26,27	14,12	9,45
5	Max F_x, kN	193,83			
	Kritinis koef.	8,83	25,86	89,95	200,04
	F_{cr}, kN	1711,52	5012,44	17435,01	38774,14
	$L_{eff, m}$	44,89	26,23	14,06	9,43
3,33	Max F_x, kN	193,83			
	Kritinis koef.	8,86	25,9	90,17	200,09
	F_{cr}, kN	1717,334	5020,197	17477,651	38783,445
	$L_{eff, m}$	44,81	26,21	14,05	9,43
2,5	Max F_x, kN	193,83			
	Kritinis koef.	8,87	25,2	90,28	200,09
	F_{cr}, kN	1719,27	4884,52	17498,97	38783,44
	$L_{eff, m}$	44,79	26,57	14,04	9,43
2	Max F_x, kN	193,82			
	Kritinis koef.	8,89	25,94	90,34	200,09
	F_{cr}, kN	1723,06	5027,69	17509,70	38781,44
	$L_{eff, m}$	44,74	26,19	14,03	9,43

A. 32 lentelė. Efektyvusis kamieno ilgis, kai didinamas žiedų skersmuo, įtvirtinimas lankstus

Skersmuo	Kintamieji	Klupumo forma			
		I forma	II forma	III forma	IV forma
0,6	Max F_x, kN	193,79			
	Kritinis koef.	8,92	26,2	89,88	200,09
	F_{cr}, kN	1728,61	5077,30	17417,85	38775,44
	$L_{eff, m}$	44,67	26,06	14,07	9,43
0,8	Max F_x, kN	193,83			
	Kritinis koef.	8,86	25,9	90,17	200,09
	F_{cr}, kN	1717,33	5020,20	17477,65	38782,48
	$L_{eff, m}$	44,81	26,21	14,05	9,43
1	Max F_x, kN	193,88			
	Kritinis koef.	8,73	25,54	90,18	199,77
	F_{cr}, kN	1692,572	4951,695	17484,098	38731,408
	$L_{eff, m}$	45,14	26,39	14,04	9,44
1,2	Max F_x, kN	193,94			
	Kritinis koef.	8,56	25,17	89,98	199,16
	F_{cr}, kN	1660,13	4881,47	17450,72	38625,09
	$L_{eff, m}$	45,58	26,58	14,06	9,45
1,4	Max F_x, kN	194			
	Kritinis koef.	8,35	24,79	89,64	198,38
	F_{cr}, kN	1619,90	4809,26	17390,16	38485,72
	$L_{eff, m}$	46,14	26,78	14,08	9,47