



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

Mindaugas Alekna

**KLIJUOTOS MEDIENOS ARKŲ KONSTRUKCIJŲ IR
RYŠIŲ ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Dr. Nerijus Meslinas

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

**KLIJUOTOS MEDIENOS ARKOS KONSTRUKCIJŲ IR
RYŠIŲ ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (M6046O21)

Vadovas

(parašas) Dr. Nerijus Meslinas
(data)

Recenzentas

(parašas) Dr. Saulius Zadlauskas
(data)

Projektą atliko

(parašas) Mindaugas Alekna
(data)

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Statybos ir architektūros fakultetas

(Fakultetas)

Mindaugas Alekna

(Studento vardas, pavardė)

Statyba, M6046O21

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Klijuotos medienos arkos konstrukcijų ir ryšių analizė“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. Sausio 03 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Mindaugo Alekno**, baigiamasis magistro projektas tema „Klijuotos medienos arkos konstrukcijų ir ryšių analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Alekna Mindaugas. Klijuotos medienos arkos konstrukcijų ir ryšių analizė. Baigiamasis magistro projektas / vadovas dr. Nerijus Meslinas; Kauno technologijos universitetas, statybos ir architektūros fakultetas.

Mokslų kryptis ir sritis: technologiniai mokslai, statybos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: *Klijuota mediena, trijų lankstų arka, ryšių sistema, spyriniai ryšiai, laikančiosios konstrukcijos, lankstas.*

Kaunas, 2017. 69 p.

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe pateikiama visuomeninės paskirties pastato – ekspozicijų paviljono stogo denginio laikančios konstrukcijos projektavimas ir ryšių analizė. Remiantis literatūra pasirinkta ir suprojektuota 60 m. trijų lankstų klijuotos medienos arka. Suprojektuotas kraiginis ir pamato lankstiniai mazgai. Sudarius erdvinį konstrukcijų modelį suprojektuotos ir palygintos šešios skirtingos ryšių sistemos. Gauti rezultatai palyginti ekonominiu ir stabilumo požiūriu. Pasiūlytas stabilumą gerinantis ryšių sistemos sprendimas.

Alekna, Mindaugas. *Glulam arch design and lateral buckling analysis: Master's final work* / supervisor dr. Nerijus Meslinas. The Faculty Of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Construction engineering.

Key words: Glulam arch, Three hinged arch, Lateral buckling system, Truss bracing elements, load-bearing structures, hinge

Kaunas, 2017. 69 p.

SUMMARY

The final thesis presents public use – expo pavilion roof load-bearing structure design and lateral buckling analysis. Three hinged arch of 60 meters length use based on literature. The thesis provides ridge and foundation connections design for glulam arch. Finite elements model is designed to compare six different bracing elements behavior. The results of FEM analysis provides economical and stability recommendations of bracing use. The thesis suggests better bracing use for lateral buckling stability increase.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
SANTRUMPOS	10
1. ĮVADAS	11
1.1. Baigiamojo magistro darbo tikslas	11
1.2. Pagrindiniai darbo uždaviniai	11
1.3. Praktinė prasmė	12
2. TIRIAMOJI DALIS	12
2.1. Bendrieji duomenys	12
2.2. Klijuotos medienos arkos geometrija	13
2.3. Ryšių sistemos	14
2.4. Arkos mazgai	15
2.5. Arkos konstrukcijos skaičiavimas	15
2.6. Erdvinis skaičiuojamosios schemos modelis	15
3. APKROVŲ NUSTATYMAS	16
3.1. Stogo denginio svoris	16
3.2. Sniego apkrova	16
3.3. Vėjo apkrova	17
4. APKROVOS IR DERINIAI	19
5. MEDINĖS ARKOS PROJEKTAVIMAS	21
6. KRAIGO MAZGO PROJEKTAVIMAS	26
7. SKIRTINGŲ RYŠIŲ SISTEMŲ ANALITINIS MODELIAVIMAS	28
7.1. Spyrinės ryšių sistemos	29
7.2. Klijuotos medienos sijų ryšiai	58

7.3	Klijuotos medienos sijų ryšiai su papildomais arkos skerspjūvio apatinės dalies suvaržymais.....	33
7.4	Klijuotos medienos sijų ryšiai išdėstyti centre klijuotos medienos skerspjūvio plokštumos	35
7.5	Klijuotos medienos arka suvaržoma iš plokštumos profiliuotos skardos lakštais viršutinėje juostoje ir išdėstomi sijų ryšiai apatinėje juostoje.....	38
7.6	Klijuotos medienos arka suvaržoma iš plokštumos klijuotos medienos sijomis viršutinėje skerspjūvio dalyje su papildomais spyriais apatinėje	41
7.7	Ryšių sistemų analitinio modeliavimo gautų rezultatų palyginimas	44
7.8	Alternatyvus ryšių panaudojimas siekiant sumažinti poslinkius	47
7.9	Skirtingų ryšių sistemų analitinio modeliavimo išvados	50
8.	RYŠIŲ KONSTRUKCIJOS ELEMENTŲ PALYGINIMAS.....	53
8.1	Spyrinių ryšių konstrukcijos projektavimas	53
8.2	Sijinių ryšių konstrukcijos projektavimas.....	54
8.3	Suprojektuotų ryšių konstrukcijų palyginimo rezultatai.....	56
9.	KONSTRUKCIJOS ĮLINKIŲ IŠ PLOKŠTUMOS PATIKRINIMAS PAGAL	
EN	58	
10.	TEORINIS KLUPUMO SUSISUKANT IŠ PLOKŠTUMOS SKAIČIAVIMAS	
	58	
11.	STABILIZUOJANČIŲ RYŠIŲ PROJEKTAVIMAS	62
12.	PASIŪLYMAI TOLIMESNIEMS TYRIMAMS	63
13.	IŠVADOS.....	64
14.	LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	65
15.	PRIEDAI	67

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

2.2	1. pav. Trijų lankstų arkos schema	12
2.2.1	pav. Arkos skaičiuojamoji schema	12
2.2.2	pav. Arkos rėmas „ROBOT Structural analysis“ aplinkoje	13
2.3.1	pav. HR/VR ryšių sistemos schema tarp arkų	13
2.3.2	pav. HR ryšių sistemos schema tarp arkų	13
2.5.1	pav. Normalinių įtempių epiūros. 1-1 tikroji, 2-2 skaičiuojamoji	14
2.6.1	pav. Erdvinė pastato modelio skaičiuojamoji schema	15
3.2.1	pav. Sniego apkrovos schema	16
3.3.1	pav. Vėjo apkrovos schema	18
5.1	pav. Ašinių jėgų diagrama pagal nepalankiausią derinį.	20
5.2	pav. Momentų diagrama pagal nepalankiausią derinį.	21
5.3	pav. Skaičiuojamoji schema arkos įtempiams apskaičiuoti	22
6.1	pav. Skersinių jėgų diagrama pagal nepalankiausią derinį.	25
6.2	pav. Skersinių jėgų diagram kraigo mazge pagal nepalankiausią derinį.	25
7.1	pav. Modelio pakeitimas ROBOT programinės įrangos aplinkoje	27
7.1	pav. Normaliniai / tangentiniai įtampiai arkos skerspjūvyje	27
7.1.1	pav. Spyrinės ryšių sistemos schema tarp arkų	28
7.1.2	pav. Įtampiai S_{xy} (Mpa)	29
7.1.3	pav. Susisukimai R_{xx} (rad)	30
7.1.4	pav. Susisukimai R_{yy} (rad)	30
7.1.5	pav. Deformacijos (mm)	31
7.1.6	pav. Ašinių jėgų pasiskirstymas ryšių sistemose F_x (kN)	31
7.1.7	pav. Ašinių jėgų pasiskirstymas ryšio elemente F_x (kN)	32
7.1.8	pav. Normalinių įtempių pasiskirstymas ryšio elemente S (MPa)	32
7.2.1	pav. HR ryšių sistemos schema tarp arkų	32
7.2.2	pav. Įtampiai S_{xy} (Mpa)	33
7.2.3	pav. Susisukimai R_{xx} (rad)	34
7.2.4	pav. Susisukimai R_{yy} (rad)	34
7.2.5	pav. Deformacijos (mm)	35
7.2.6	pav. Klijuotos medienos arkos deformacijos iš plokštumos	35
7.3.1	pav. Papildomų ryšių išdėstymo arkoje schema	36
7.3.2	pav. Įtampiai S_{xy} (Mpa)	36
7.3.3	pav. Susisukimai R_{xx} (rad)	37
7.3.4	pav. Susisukimai R_{yy} (rad)	37
7.3.5	pav. Deformacijos (mm)	38
7.4.1	pav. Ryšių sijos, pritvirtintos centre klijuotos medienos arkos	38
7.4.2	pav. Įtampiai S_{xy} (Mpa)	39
7.4.3	pav. Susisukimai R_{xx} (rad)	39

7.4.4	pav. Susisukimai R_{yy} (rad)	40
7.4.5	pav. Deformacijos (mm)	40
7.5.1	pav. Klijuotos medienos arkos suvaržymas	41
7.5.2	pav. Klijuotos medienos arkos skaičiuotinis modelis	41
7.5.3	pav. Įtempiai S_{xy} (Mpa)	42
7.5.4	pav. Susisukimai R_{xx} (rad)	42
7.5.5	pav. Susisukimai R_{yy} (rad)	43
7.5.6	pav. Deformacijos (mm)	43
7.6.1	pav. Įtempiai S_{xy} (Mpa)	44
7.6.2	pav. Susisukimai R_{xx} (rad)	44
7.6.3	pav. Susisukimai R_{yy} (rad)	45
7.6.4	pav. Deformacijos (mm)	45
7.6.5	pav. Ašinių jėgų pasiskirstymas ryšių sistemose F_x (kN)	46
7.7.1	pav. Įtempiai nuo skirtingų ryšių sistemų	47
7.7.2	pav. Susisukimai R_{xx} ir R_{yy} nuo skirtingų ryšių sistemų	48
7.7.3	pav. Deformacijos (mm) pagal SLS	49
7.8.1	pav. Įlinkių schema nuo SLS	50
7.8.2	pav. Papildomų horizontalių kryžminių ryšių įvedimas	50
7.8.3	pav. Įlinkiai plokštumoje (mm)	51
7.8.4	pav. Poslinkiai plokštumoje horizontalia kryptimi	51
7.8.5	pav. Įlinkiai plokštumoje Y kryptimi	51
7.8.6	pav. Susisukimai R_{xx} (rad)	52
7.8.7	pav. Susisukimai R_{yy} (rad)	52
7.9.1	pav. Trijų lankstų klijuotos medienos arkos įlinkiai ir susisukimas	53
7.9.2	pav. Trijų lankstų klijuotos medienos arkos deformacijos bendruoju atveju	54
8.1.1	pav. Spyrynių ryšių skaičiavimo modelis	55
8.2.1	pav. Sijinio ryšio skaičiavimo modelis	57
9.1	pav. Arkos konstrukcijos maksimalūs įlinkiai horizontalioje plokštumoje	59

LENTELIŲ SĄRAŠAS

4.1	lentelė. Apkrovos	19
4.2	lentelė. Skaičiuojamosios apkrovos	19
4.3	lentelė. Nepalankiausi apkrovų deriniai	20

SANTRUMPOS

Žymuo	Paaiškinimas
STR	Statybos Techninis Reglamentas
EC	Euro kodas
EN	Euro normos
M	metrai
deg	Laipsniai
kg	kilogramai
kN	Kiloniutonas
Mpa	Megapaskalis
mm	milimetrai
%	procentai
t	tona
R_{xx}	Susisukimai elemente x kryptimi
R_{yy}	Susisukimai elemente y kryptimi
SLS	Tinkamumo ribinis būvis
ULS	Saugos ribinis būvis
S_{xy}	Tangentiniai įtempiai
S_{xx}	Normaliniai įtempiai elemente x kryptimi
S_{yy}	Normaliniai įtempiai elemente y kryptimi
rad	Radianas
W_d	Atsparumo momentas

1. ĮVADAS

Darbo tikslas - suprojektuoti 60 m. ilgio stogo denginio laikančiąsias konstrukcijas kultūros paskirties pastatui – ekspozicijų paviljonui bei palyginti skirtingas ryšių sistemas. Šiam ypatingam statiniui dėl tinkamo tarpatramio, remiantis literatūros analize, pasirinkta projektuoti trijų lankstų klijuotos medienos arkinę konstrukciją. Šiam tikslui pasiekti pasirinkta optimali arkos geometrija perdengiamam tarpatramiui, išanalizuoti konstrukcijos elementų tarpusavio tvirtinimo būdai, pasirinktas stogo denginys ir nustatytos jo ir aplinkos veiksnių veikiamos apkrovos. Daliai stogo denginio projektuojama trigubo aprėminto stiklo paketai (angl. „Guardian acoustic insulating glass“), atitinkantys A energinio naudingumo klasės reikalavimus atitinkantį šilumos perdavimo koeficientą ($U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$). Kita stogo konstrukcijos dalis perdengiama profiliuotos skardos lakštais su šiltinamuoju paklotu. Modeliuojamas pastato erdvinis karkaso modelis, kuriame nagrinėjama elementų elgsena, suprojektuojamas ir optimizuojamas klijuotos medienos arkos skerspjūvis. Gautas skerspjūvis patikrinamas pagal statybos reglamente galiojančius nurodymus, pasiūlyta patobulinimų, kurie patikslintų arkinių konstrukcijų skaičiavimus.

Pastato erdvinis rėmas analizuojamas modeliuojant galimus arkos klupimus iš plokštumos. Nagrinėjami skirtingi ryšių sistemos atvejai, kai arkos konstrukcijai užtikrinti stabilumą iš plokštumos naudojamos klijuotos medienos sijos, bei taip pat praktikoje naudojami spyriniai ryšiai, profiliuota skarda kaip diafragma. Gautas rezultatas palyginamas įlinkių bei susisukimo, t.y. stabilumo požiūriu. Palyginami gauti įtempiai, deformacijos.

Projektuojamo pastato sniego apkrovos rajonas – 2, vėjo apkrovos rajonas – 1.

1.1. Baigiamojo magistro darbo tikslas

Suprojektuoti stogo denginio medinę arkinę konstrukciją 60 m. tarpatramiui, pasiūlyti patobulinimų statybos reglamento skaičiavimui arkinėms konstrukcijoms. Išanalizuoti erdvinį konstrukcijos modelį, palyginant skirtingas ryšių sistemas pagal ekonominį ir stabilumo požiūrį.

1.2. Pagrindiniai darbo uždaviniai

- Literatūros analizė;
- Optimaliausios geometrijos parinkimas perdengiamam tarpatramiui;
- Apkrovų nustatymas ir nepalankiausių apkrovų derinių sudarymas;
- Klijuotos medienos arkos skerspjūvio nustatymas naudojant „ROBOT structural analysis“ programinę įrangą;

- Gauto skerspjūvio patikrinimas skaičiuojant pagal statybos techninį reglamentą galiojančiomis normomis;
- Arkinės konstrukcijos kraigo mazgo projektavimas;
- Arkinės konstrukcijos atraminių mazgų projektavimas;
- Skirtingų ryšių sistemų palyginimas erdviniam modelyje;
- Pasiūlymas ryšių sistemų tobulinimui

1.3. Praktinė prasmė

Klijuotos medienos arkų skaičiavimo tobulinimo bei stabilumo gerinimo pasiūlymai

2. TIRIAMOJI DALIS

2.1. Bendrieji duomenys

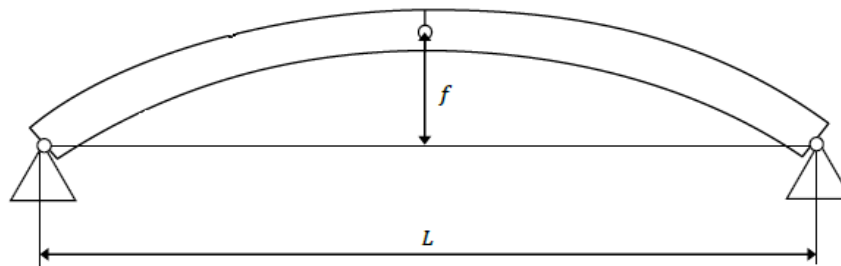
Remiantis V. Ražaičio „Pastatų konstravimo pagrindais“ (2004) bei Audrey Farreyre Jean-bernard Journot (2005), perdengti iki 60 m. tarpatarmiui yra racionalu naudoti klijuotos medienos arkines konstrukcijas. Pagal projektuojamo pastato stogo denginio konstrukciją bei pastato paskirtį, tikslinga naudoti klijuotos medienos arkas, kurios yra atsparios agresyviai aplinkai, o didesnių skerspjūvių elementai turi didesnę atsparumą ugniai. Tam tikslui pasirenkama trijų lankstų arkos skaičiuojamoji schema, kurios yra užimančios mažiau pastato erdvės, taupančios statybines medžiagas, eksploatacijos metu nereikalaujančios ypatingos priežiūros.

Pagal V. Ražaičio „Pastatų konstravimo pagrindus“ bei “Design of structural timber elements in ULS. Ch.3 in Design of timber structures by Swedish Wood. Swedish Forest Industries Federation, 2011”, optimaliausias medinių arkų panaudojimas paprastai naudojamas perdengti 60 - 70 m. tarpatramį. Pagal atliktus literatūros tyrimus, pasirinkta arkos geometrija racionaliausia, todėl bus suprojektuotas ekonomiškiausias variantas.

Tarpsniai tarp nagrinėjamo stogo denginio konstrukcijų – 6 m. Toks atstumas pasirenkamas dėl racialesnio ryšių panaudojimo nesukuriant per liaunų elementų, bei dėl stogo denginio tvirtinimo vietų.

Pagal Algirdo Valentinavičiaus „Medinės konstrukcijos“ (2000), dėl transportavimo sąlygų klijuotos medienos arkos elementai montavimo metu tvirtinami tarpusavyje standžia sandūra, kuri turi užtikrinti apkrovimo metu atsirandančias įrašas bei lenkimo momentus.

Pagal Olle Carling (2003) atliktus tyrimus “Limtra Handbok. Print & Media Center i Sundsvall AB, 2nd edition”, trijų lankstų medinės arkos konstrukcijos, siekiant išvengti didelių skersinių skėtimo jėgų atramose, pakyls ir tarpatramio santykis turi tenkinti sąlygą:



2.2 1. Trijų lankstų arkos schema

$$\frac{f}{L} \geq 0,14; \quad (2.1.1)$$

čia f - arkos pakylės aukštis;

L – arkos tarpatramio ilgis.

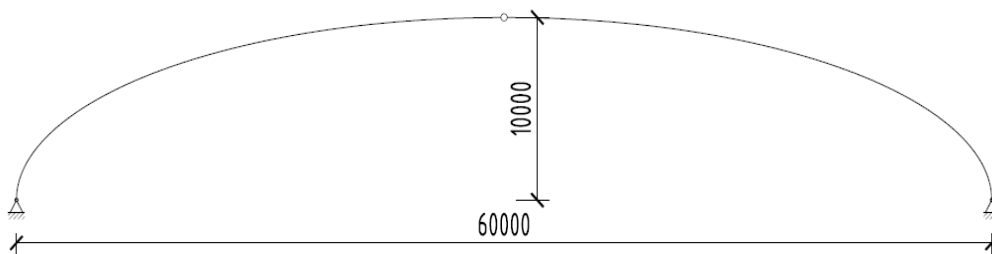
Pagal gamintojų nurodymus [24], klijuotos medienos arkos gaminamos iš G124h-G128h stiprumo klasės, klijuojant 16-40 mm lameles, gaminamas iš spygliuočių medienos. Mažiausias lenkimo spindulys – 2,5 m, plotis – 0,08 m.

2.2. Klijuotos medienos arkos geometrija

Pasirinktas projektuojamos arkos aukštis – 10 m. Tikrinama sąlyga:

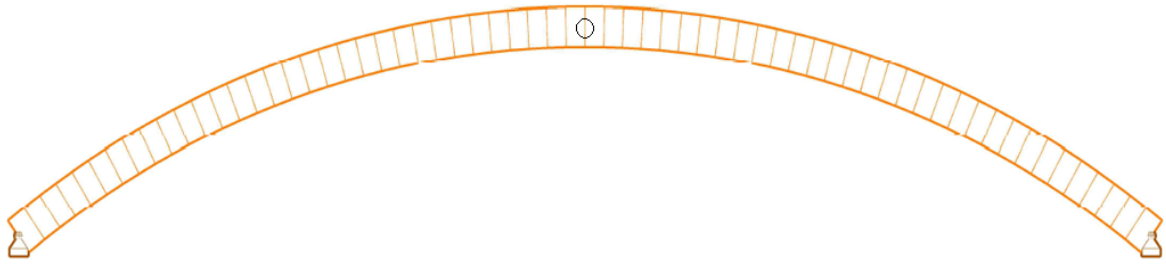
$$\frac{f}{L} = \frac{10}{60} = 0,167 \geq 0,14; \quad (2.2.1)$$

Sąlyga tenkinama, todėl pasirinkta racionali arkos geometrija ir bus suprojektuotas ekonomiškiausias variantas.



2.2.1 pav. Arkos skaičiuojamoji schema

Santvara projektuojama naudojantis baigtinių elementų programa „ROBOT Structural Analysis“, todėl skaičiuojamoji schema suskirstyta į pavienius tiesius, 1 m. ilgio strypus, išdėstytus sudarant arkos geometrinę formą.

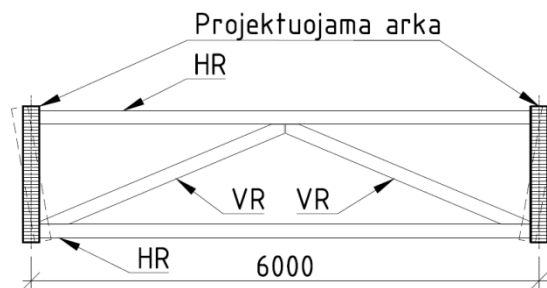


2.2.2 pav. Arkos rėmas „ROBOT Structural analysis“ aplinkoje

2.3. Ryšių sistemos

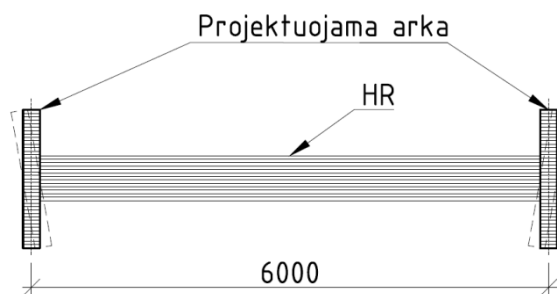
Išanalizavus įvairius pastatus, pvz., Marijampolės futbolo maniežą, *Espoo* sporto centrą Suomijoje, *Leeds* pramonės ir energetikos jėgainę Jungtinėje Karalystėje, Amerikos automobilių muziejų Amerikoje bei kitus, palygintos ryšių sistemos. Pagal suprojektuotą klijuotos medienos arką lyginamos ryšių sistemos:

- 1) kai projektuojami horizontalieji ir vertikalieji ryšiai statmenoje arkos plokštumoje:



2.3.1 pav. HR/VR ryšių sistemos schema tarp arkų

- 2) kai projektuojamos klijuotos medienos sijos kaip horizontalieji ryšiai statmenoje arkos plokštumoje:



2.3.2 pav. HR ryšių sistemos schema tarp arkų

Lyginant skirtingas ryšių sistemas, nagrinėjami tokie aspektai kaip erdvinio rėmo įlinkiai, susisukimai, įtempiai arkoje, elementų liaunumas, atsparumas ugniai. Tam tikslui suprojektuojamas baigtinių elementų modelis detaliai arkos išlinkių iš plokštumos analizei

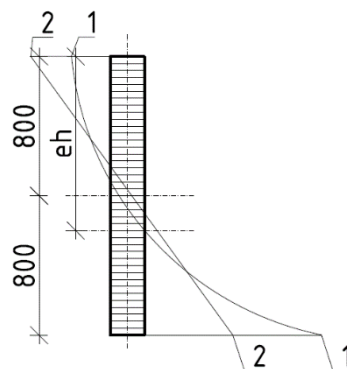
atlikti, naudojant „ROBOT structural analysis“ programinę įrangą. Pastato galuose sukuriant standžius blokus tarp arkų, naudojami kryžminiai ryšiai – plieniniai strypai.

2.4. Arkos mazgai

Atliekant tiriamąją dalį, pagal A. Valentinavičiaus „Medinės konstrukcijos“ (2000) buvo pasirinkti kraigo ir atramų mazgai. Didelių tarpatramių arkoms dažniausiai naudojami kaištiniai – lankstiniai mazgai. Suprojektuotas kraigo kaištinis mazgas, kuris tvirtinamas po 5 ($d = 12 \text{ mm}$) smeiges kiekvienoje pusarkėje. Suprojektuotas arkos jungimo prie pamato mazgas, kur naudojami M30 8.8 A klasės 5 vnt. inkarinių varžtų.

2.5. Arkos konstrukcijos skaičiavimas

Tiriamąjoje dalyje, remiantis R. Čechanavičiaus „Šiuolaikinių medinių klijuotų arkų stiprumo apskaičiavimo ypatumais“ nustatyta, jog projektuojant lenkiamas ir ekscentriškai gniuždomas konstrukcijas, charakteristinės stiprio reikšmės yra skirtos tik elementams, kurių aukštis yra $h \leq 60 \text{ cm}$. Tačiau kai skerspjūvis viršija $h \geq 60 \text{ cm}$., būtina įvertinti skerspjūvio stiprumo susilpnėjimą, nes skiriasi tikroji normalinių įtempių epiūra kintant skerspjūvio aukščiui, lyginant su skaičiuojamąja.



2.5.1 pav. Normalinių įtempių epiūros. 1-1 tikroji, 2-2 skaičiuojamoji

Pagal literatūros šaltinius, aukščio įtakos faktorius įvertinamas pagal Šveicarijos medinių konstrukcijų normas SIA 164, 1981/82:

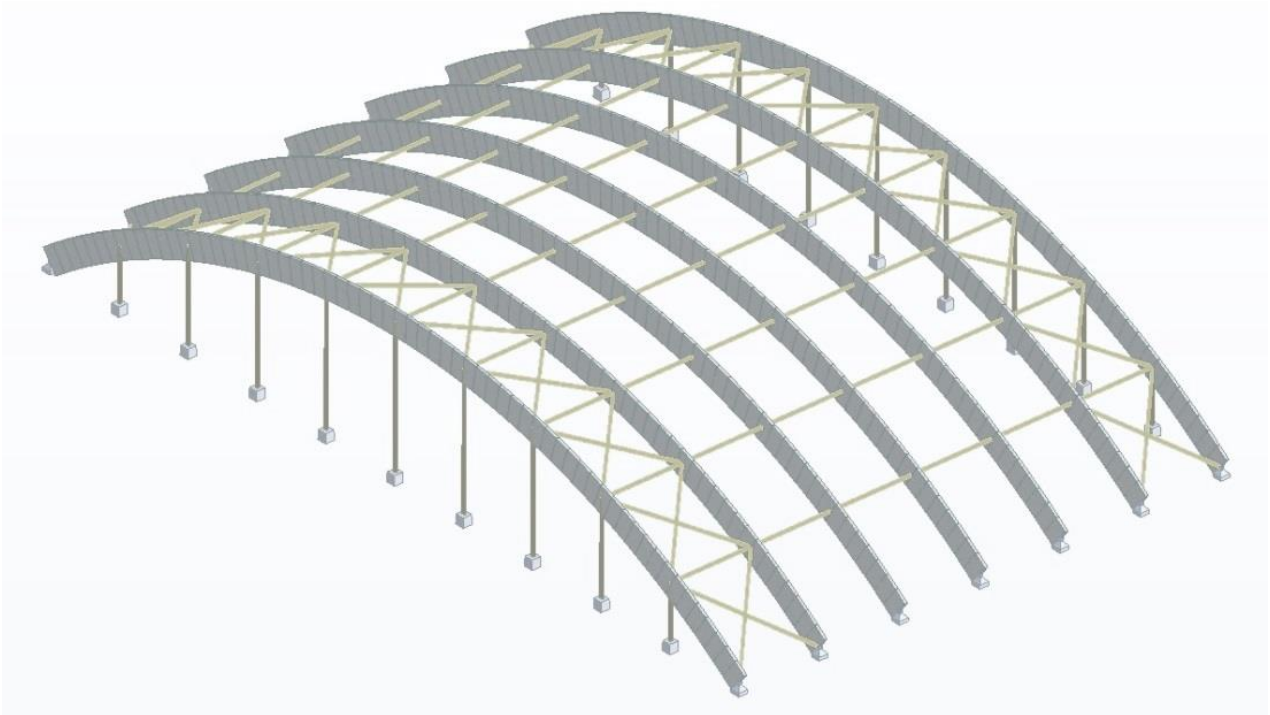
$$k_h = \left(\frac{300}{h}\right)^{\frac{1}{9}} \quad (2.5.1)$$

Gauta reikšmė palyginama pagal SNIP II-25-80, 1982: $k_h = 0,8$

2.6. Erdvinis skaičiuojamosios schemos modelis

Sudarytas pradinis erdvinis modelis, kuriam pritaikyta standartinė ryšių sistema medinėms arkinėms konstrukcijoms, užstandinant du kraštinius blokus. Apkrovos projektuojamos tik iš vienos pusės dėl pastato simetriškumo. Vėlesniems skaičiavimams

naudojamas baigtinių elementų tūrinis modelis, apkrovos dedamos iš visų pusių analizuojant skirtingų ryšių sistemų darbus.



2.6.1 pav. Erdvinė pastato modelio skaičiuojamoji schema

3. APKROVŲ NUSTATYMAS

3.1. Stogo denginio svoris

Stogo denginio konstrukcija turi atitikti keliamus energinio naudingumo A energinio naudingumo klasės pastatų reikalavimus visuomeniniams pastatams, todėl šilumos perdavimo koeficientas $U_{(A)}$ ($W/(m^2 \cdot K)$) vertės A energinio naudingumo klasės viešosios paskirties pastatų stogo denginiui: $U_{(A)} = 0,11$ ($W/(m^2 \cdot K)$), švieslangiams: $U_{(A)} = 1,3$ ($W/(m^2 \cdot K)$).

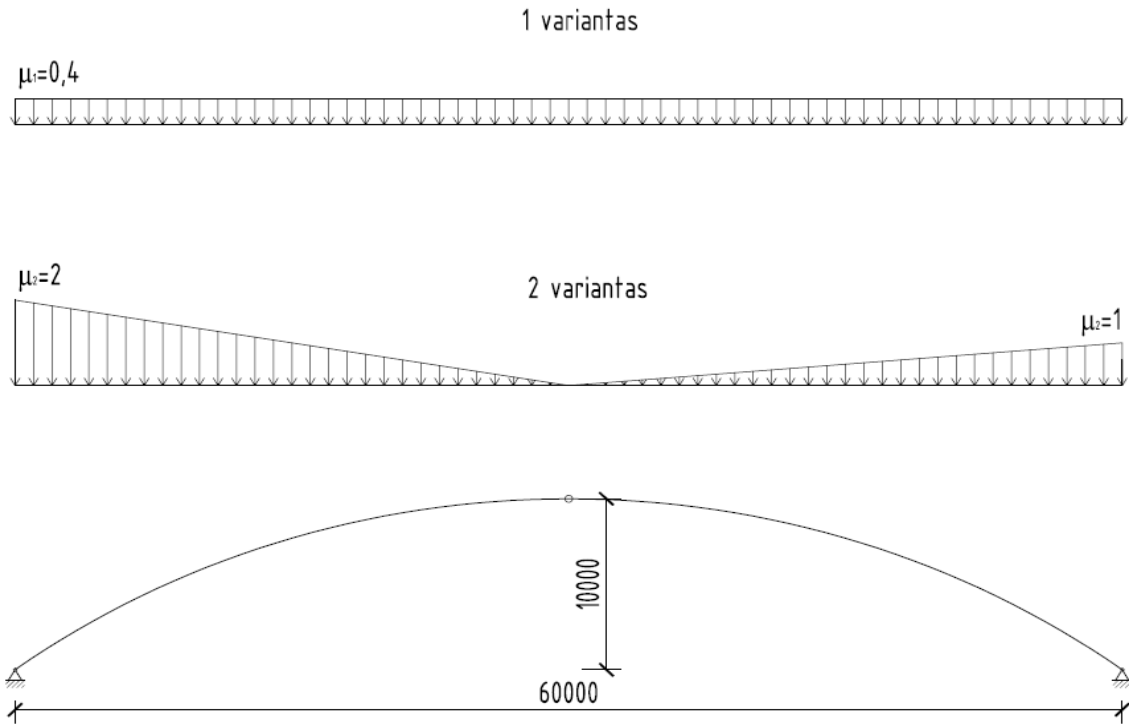
Projektuojamam stogo denginiui numatoma naudoti trigubo stiklo paketus bei profiliuotas skardos lakštus su šiltinamuoju sluoksniu. Pasirenkama charakteristinė apkrova $g_k = 0,70$ kN/m^2 .

Charakteristinė stogo denginio apkrova tiesiniam metrui:

$$g_{d1} = g_k \cdot B \cdot \gamma_Q = 0,7 \cdot 6 \cdot 1,35 = 5,67 \text{ kN/m} \quad (3.1.1)$$

3.2. Sniego apkrova

Numatoma, kad projektuojamas pastatas – II sniego apkrovos rajone, kur sniego apkrovos charakteristinė apkrova $s_k = 1,6$ kN/m^2 . Pagal sniego apkrovos schemą Nr. 2 (Statiniai su skliautiniais ir panašaus į juos kontūro stogais):



3.2.1 pav. Sniego apkrovos schema

Sniego apkrovos skaičiuojamos pagal formulę:

$$s_i = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3.2.1)$$

čia C_e – atodangos koeficientas, kurio reikšmė paprastai imama 1,0;

C_t – terminis koeficientas, priklausantis nuo energijos nuostolių per stogą ar kitos terminės įtakos. Terminis koeficientas turi būti panaudojamas, kai atsižvelgiama į dėl tirpimo sumažėjusią sniego apkrovą ant stogo, turinčio didelį šiluminį laidumą ($> 1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Visais kitais atvejais $C_t = 1,0$.

Charakteristinės sniego apkrovos:

$$s_{k1 \text{ var}} = 0,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 0,64 \text{ kN/m}^2 \quad (3.2.3)$$

$$s_{k2.1 \text{ var}} = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 3,2 \text{ kN/m}^2 \quad (3.2.3)$$

$$s_{k2.2 \text{ var}} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 1,6 \text{ kN/m}^2 \quad (3.2.4)$$

Skaičiuotinė sniego apkrova:

$$s_{d1} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot B = 0,64 \cdot 1,3 \cdot 6 = 4,99 \text{ kN/m} \quad (3.2.5)$$

$$s_{d2.1} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot B = 3,2 \cdot 1,3 \cdot 6 = 24,96 \text{ kN/m} \quad (3.2.6)$$

$$s_{d2.2} = s_k \cdot \gamma_Q \cdot B = 1,6 \cdot 1,3 \cdot 6 = 12,48 \text{ kN/m} \quad (3.2.7)$$

3.3. Vėjo apkrova

Pasirinktas vėjo apkrovos rajonas – I (pagal STR 2.05.04 „Poveikiai ir apkrovos“).

Vietovės tipas B. Atskaitinis vėjo slėgis q_{ref} nustatomas pagal formulę:

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 \frac{N}{m^2} \quad (3.3.1)$$

ρ – oro tankis. imama, kad $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$.

v_{ref} – atskaitinis vėjo greitis.

$$v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0} \quad (3.3.2)$$

$v_{ref,0} = 24 \frac{m}{s}$ vėjo greičio pagrindinė atskaitinė reikšmė.

Čia: c_{DIR} , c_{TEM} , c_{ALT} krypties, laiko ir aukščio virš jūros lygio koeficientai, lygūs 1,0;

$$v_{ref} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 24 = 24 \frac{m}{s} \quad (3.3.3)$$

$$q_{ref} = \frac{1.25}{2} \cdot 24^2 = 360 \frac{kg}{m^2} = 0.36kN/m^2 \quad (3.3.4)$$

Vidutinė slėgio į išorinius konstrukcijos paviršius dedamoji w_{me} apskaičiuojama, taikant formulę:

$$w_{me} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e \quad (3.3.5)$$

Dėl pastato simetrijos nagrinėjamas tik vienas atvejis kai vėjas pučia iš vienos pusės. Priimama, jog stogo denginio konstrukcijos atramos yra 10 m. aukštyje. Schemose priimama, kad vėjas pučia iš kairės pusės.

Vėjo poveikis stogui:

Vėjo siurbimas arkos atramoje kairėje (priimama, jog atrama 10 m. aukštyje):

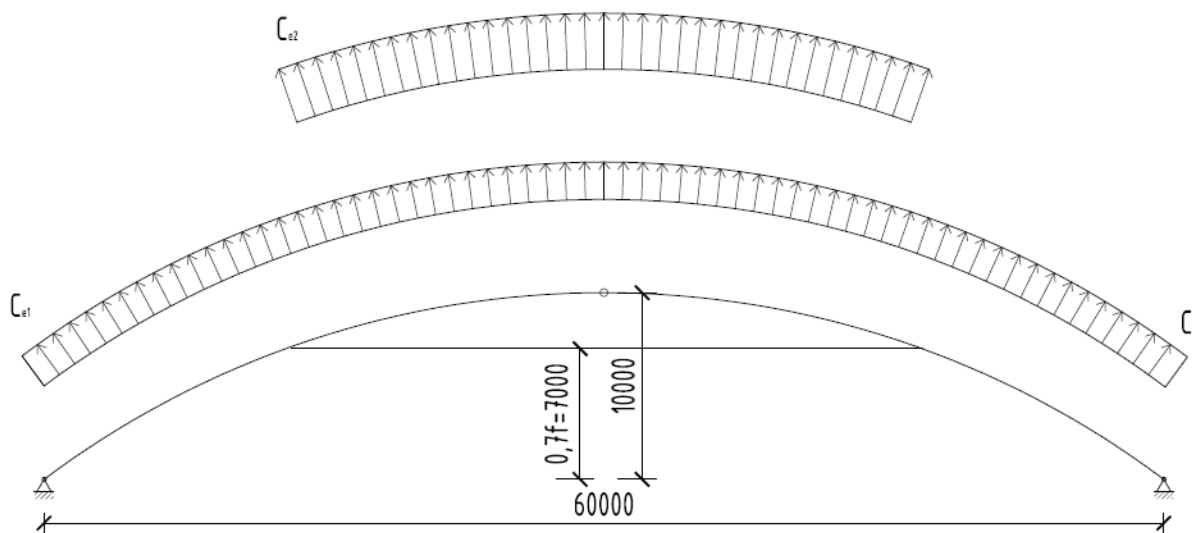
$$W_{me,F} = c_{e1} \cdot q_{ref} \cdot \gamma_Q \cdot c(z) \cdot B = 0,12 \cdot 0,36 \cdot 1,3 \cdot 0,65 \cdot 6 = 0,022kN/m \quad (3.3.6)$$

Vėjo siurbimas arkos atramoje dešinėje (priimama, jog atrama 10 m. aukštyje)

$$W_{me,F} = c_e \cdot q_{ref} \cdot \gamma_Q \cdot c(z) \cdot B = -0,4 \cdot 0,36 \cdot 1,3 \cdot 0,65 \cdot 6 = -0,73kN/m \quad (3.3.7)$$

Vėjo siurbimas (0,7f aukštyje):

$$W_{me,F} = c_{e2} \cdot q_{ref} \cdot \gamma_Q \cdot c(z) \cdot B = -0,867 \cdot 0,36 \cdot 1,3 \cdot 0,85 \cdot 6 = -2,07kN/m \quad (3.3.8)$$



3.3.1 pav. Vėjo apkrovos schema

4. APKROVOS IR DERINIAI

4.1 lentelė. Apkrovos

Apkrova	Apkrovos tipas	Apkrovos reikšmės (m) (kN) (Deg)
1. Stogo denginio svoris	tolygi apkrova	PZ=-4,20(kN/m)
2. Įrenginių svoris stogui	tolygi apkrova	PZ=-6,00(kN/m)
3. Sniegas 1var	tolygi apkrova	PZ=-3,84(kN/m)
4. Sniegas 2var	trapecinė apkrova (2p)	PZ2=0,0(kN/m) PZ1=-19,20(kN/m) X2=1,00
4. Sniegas 2var	trapecinė apkrova (2p)	X1=0,0
4. Sniegas 2var	trapecinė apkrova (2p)	PZ2=-9,60(kN/m) PZ1=0,0(kN/m) X2=1,00 X1=0,0
5. Vejas 1var	trapecinė apkrova (2p)	PZ2=0,56(kN/m) PZ1=-0,17(kN/m) X2=1,00
5. Vejas 1var	trapecinė apkrova (2p)	X1=0,0
6. Vejas 2var	tolygi apkrova	PZ=1,59(kN/m)

4.2 lentelė. Skaičiuojamosios apkrovos

Nuolatiniai poveikiai					
Apkrovos indeksas	Apkrovos pavadinimas	Norminė apkrova kN/m ²	Patikimumo koeficientas γ	Skaičiuojamoji apkrova KN/m ²	Pastabos
Ss	Skaičiuojamų konstrukcijų savasis svoris	-	1,35	-	Pateikti skaičiavimuose

Gs	Stogo denginio svoris	0,70	1,35	0,83	Profiliuotos skardos lakštai su apšiltinimo sluoksniu / stiklo paketai
	Inžinerinių sistemų svoris	1	1,35	1,35	
Kintamieji poveikiai					
Apkrovos indeksas	Apkrovos pavadinimas	Norminė apkrova KN/m ²	Patikimumo koeficientas γ	Skaičiuojamoji apkrova KN/m ²	Pastabos
S	Sniegas	1,6	1,3	2,08	Sniego raj. II
V	Vėjas	0,36	1,3	0,47	Vėjo raj. I

4.3 lentelė. Nepalankiausi apkrovų deriniai

Nr	Derinys	Nr	Derinys
1	ULS/1=1*1.35 + 2*1.35	23	ULS/23=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.78 + 3*1.30
2	ULS/2=1*1.35 + 2*1.35 + 5*1.30	24	ULS/24=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.78 + 4*1.30
3	ULS/3=1*1.35 + 2*1.35 + 5*1.30 + 3*0.65	25	ULS/25=1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.78 + 3*1.30
4	ULS/4=1*1.35 + 2*1.35 + 5*1.30 + 4*0.65	26	ULS/26=1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.78 + 4*1.30
5	ULS/5=1*1.35 + 2*1.35 + 6*1.30	27	SLS/1=1*1.00 + 2*1.00
6	ULS/6=1*1.35 + 2*1.35 + 6*1.30 + 3*0.65	28	SLS/2=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00
7	ULS/7=1*1.35 + 2*1.35 + 6*1.30 + 4*0.65	29	SLS/3=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 3*0.50
8	ULS/8=1*1.00 + 2*1.00	30	SLS/4=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00 + 4*0.50
9	ULS/9=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.30	31	SLS/5=1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00
10	ULS/10=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.30 + 3*0.65	32	SLS/6=1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 3*0.50
11	ULS/11=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.30 + 4*0.65	33	SLS/7=1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00 + 4*0.50
12	ULS/12=1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.30	34	SLS/8=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00
13	ULS/13=1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.30 + 3*0.65	35	SLS/9=1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00
14	ULS/14=1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.30 + 4*0.65	36	SLS/10=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.60 + 3*1.00
15	ULS/15=1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.30	37	SLS/11=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.60 + 4*1.00
16	ULS/16=1*1.35 + 2*1.35 + 4*1.30	38	SLS/12=1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.60 + 3*1.00
17	ULS/17=1*1.35 + 2*1.35 + 5*0.78 + 3*1.30	39	SLS/13=1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.60 + 4*1.00
18	ULS/18=1*1.35 + 2*1.35 + 5*0.78 + 4*1.30	40	SLS/14=1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.20

19	ULS/19=1*1.35 + 2*1.35 + 6*0.78 + 3*1.30	41	SLS/15=1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.20
20	ULS/20=1*1.35 + 2*1.35 + 6*0.78 + 4*1.30	42	SLS/16=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.20
21	ULS/21=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.30	43	SLS/17=1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.20
22	ULS/22=1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.30		

5. MEDINĖS ARKOS PROJEKTAVIMAS

Optimalus skerspjūvio aukščio ir tarpatramio ilgio santykis pagal V. Ražaitį (2004):

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{5} - \frac{1}{8} \quad (5.1)$$

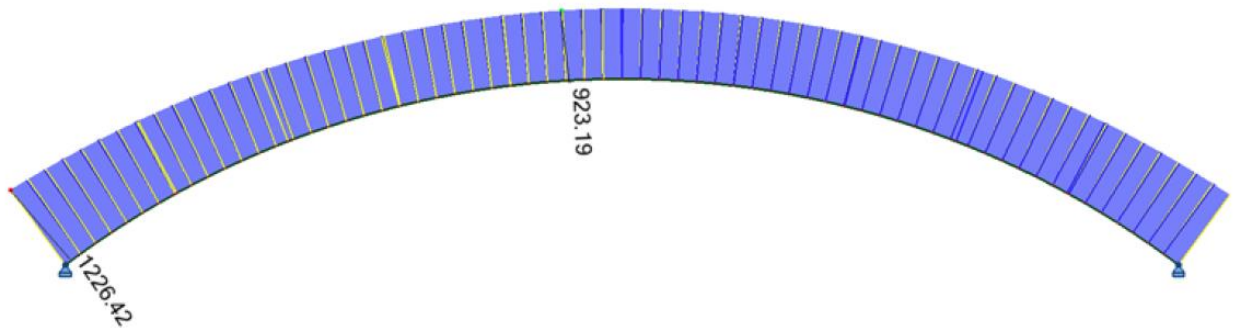
h – Skerspjūvio aukštis;

L – Arkos tarpatramio ilgis;

Arkos pavojingiausias pjūvis preliminariai yra $\frac{1}{4}$ viso arkos ilgio taške. Pagal rekomendacijas ir „ROBOT structural analysis“ preliminarinius skaičiavimus, parenkamas klijuotos (stiprumo klasė GL28h) skerspjūvis, kurio matmenys 195x1600mm (b x h). Medienos charakteristikos: Gniuždymas išilgai pluoštų $f_{c,0,k} = 26,5$ MPa, 5 % tamprumo išilgai pluošto modulis $E_{0,05} = 20,20$ kPa, tankis $\rho_{g,k} = 4,1$ kN/m³.

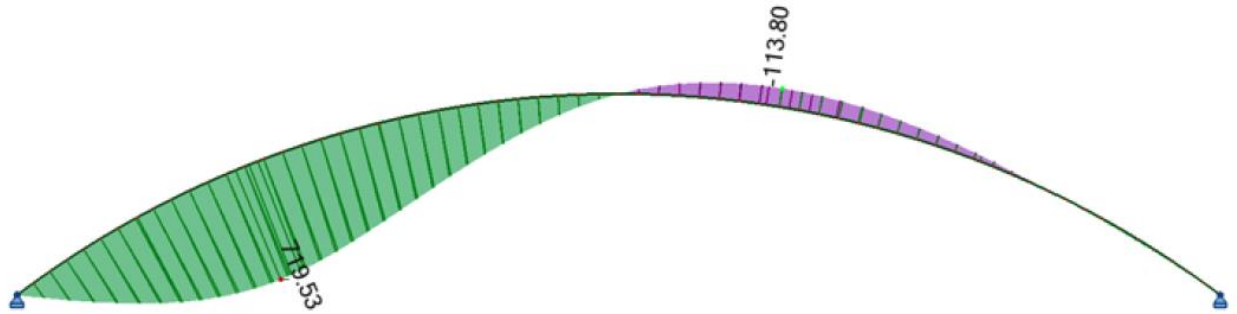
Ekscentriškai gniuždomo elemento stiprumas:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A_{net}} + \frac{M_{mod}}{W_d} < f_{c,0,d} \quad (5.2)$$



5.1 pav. Ašinių jėgų diagrama pagal nepalankiausią derinį.

Didžiausia įraža ($N_{Ed} = 1226$ kN) susidaro derinyje 24 : ULS/18=1*1.35 + 2*1.35 + 5*0.78 + 4*1.30



5.2 pav. Momentų diagrama pagal nepalankiausią derinį.

Momentas ($M_{Ed} = 719,53 \text{ kNm}$): $32 : \text{ULS}/26 = 1 \cdot 1,00 + 2 \cdot 1,00 + 6 \cdot 0,78 + 4 \cdot 1,30$

Skerspjūvio plotas:

$$A_{\text{net}} = 195 \times 1600 = 3120 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$$

Atsparumo momentas:

$$W_d = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{19,5 \cdot 160^2}{6} = 83200 \text{ cm}^3 \quad (5.3)$$

Klijuotos medienos skaičiuojamasis stipris gniuždant:

Standartinis elemento stipris, kurio aukštis iki 600 mm, apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$f_{c,0,g,d}^* = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} \quad (5.4)$$

$$f_{c,0,g,d}^* = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{26,5}{1,25} = 16,96 \text{ N/mm}^2 \quad (5.5)$$

$\gamma_m = 1,25$ klijuotos medienos dalinis koef.

Apkrovos koeficientas k_{mod} parenkamas pagal apkrovų derinius, priklausomai kokios trukmės apkrovos veikia, t.y. laikinos ar ilgalaikės apkrovos.

Turi būti įvertintas medienos stiprio sumažėjimo koeficientas k_h , esant didesniam skerspjūvio aukščiui, didesnis medienos sluoksnis $k_{sl} = 0,95$, sluoksnių lenkimo gaminant elementus $k_r = 1$.

Didesnio skerspjūvio aukščio koeficientas gali būti nustatytas pagal medinių konstrukcijų normas Šveicarijoje SIA 164, 1981/92:

$$k_h = \left(\frac{300}{h} \right)^{\frac{1}{9}} = \left(\frac{300}{1600} \right)^{\frac{1}{9}} = 0,83 \quad (5.6)$$

Tuomet perskaičiuojamas medienos stipris gniuždant:

$$f_{c,0,g,d} = f_{c,0,g,d}^* \cdot k_r \cdot k_{sl} \cdot k_h = 16,96 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 0,83 = 13,37 \text{ N/mm}^2 \quad (5.7)$$

Skaičiuotinis ilgis trijų lankstų arkoms ir skliautams nuo simetrinės apkrovos:

$$l_{\text{eff}} = 0,58 \cdot l = 0,58 \cdot 64,36 = 37,33 \text{ m} \quad (5.8)$$

Inercijos momentas:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{19,5 \cdot 160^3}{12} = 6656 \cdot 10^3 \text{ cm}^4 \quad (5.9)$$

Skerspjūvio inercijos spindulys:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{6656 \cdot 10^3}{3120}} = 46,19 \text{ cm} \quad (5.10)$$

Arkos liaunis:

$$\lambda = \frac{l_{\text{eff}}}{i} = \frac{3733}{46,19} = 80,11 \quad (5.11)$$

Kadangi $\lambda > 70$, tai elemento klupumo koeficientas:

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} = \frac{3000}{80,11^2} = 0,47 \quad (5.12)$$

Deformacijos koeficientas, įvertinantis papildomą lenkiamąjį momentą nuo ašinės jėgos poveikio dėl elemento išlinkio:

$$k_{\text{def}} = 1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{\varphi \cdot f_{c,0,g,d} \cdot A_d} = 1 - \frac{1226 \cdot 10^3}{0,47 \cdot 13,37 \cdot 10^6 \cdot 3120 \cdot 10^{-4}} = 0,64 \quad (5.13)$$

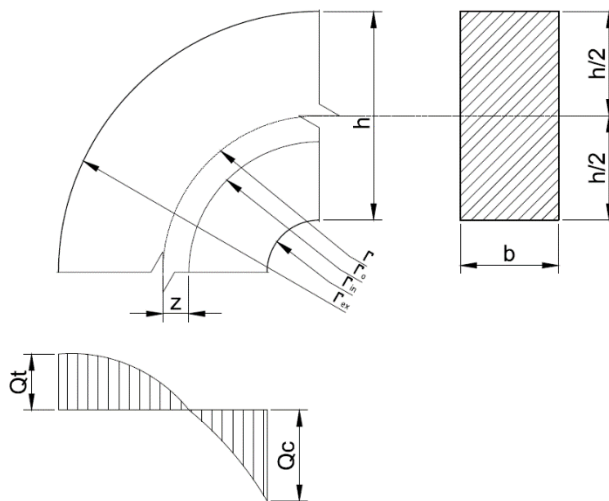
Modifikuotas momentas:

$$M_{\text{mod}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{k_{\text{def}}} = \frac{719,53 \cdot 10^3}{0,64} = 1124,27 \text{ kNm} \quad (5.14)$$

Ekscentriškai gniuždomo elemento stiprumas:

$$\sigma_{c,0,g,d} = \frac{1226 \cdot 10^3}{3120 \cdot 10^2} + \frac{1124,27 \cdot 10^3}{83200 \cdot 10^3} = 4,07 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{c,0,g,d} = 13,37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (5.15)$$

Stiprumas tenkina sąlygą.



5.3 pav. Skaičiuojamoji schema arkos įtempiams apskaičiuoti

Ekscentriškai gniuždomo elemento pastovumas:

$$\frac{N_{Ed}}{\varphi \cdot A_{net} \cdot f_{c,0,g,d}} + \left(\frac{M_{Ed}}{\varphi_M \cdot W_{ext,int} \cdot f_{m,g,d}} \right)^n < 1 \quad (5.16)$$

$\frac{h}{r} = \frac{10}{50} > \frac{1}{7}$, todėl atsparumo momento W_d reikia padauginti iš išorinio ir vidinio

spindulio kreivumo koeficiento.

Vidinės pusės kreivumo koeficientas:

$$k_{int} = \frac{1 - 0,5 \cdot \frac{h}{r}}{1 - 0,17 \cdot \frac{h}{r}} = \frac{1 - 0,5 \cdot \frac{10}{50}}{1 - 0,17 \cdot \frac{10}{50}} = 0,93 \quad (5.17)$$

$$W_{int} = W_d \cdot k_{int} = 83200 \cdot 0,93 = 77376 \text{ cm}^3 \quad (5.18)$$

Išorinės pusės kreivumo koeficientas:

$$k_{ext} = \frac{1 + 0,5 \cdot \frac{h}{r}}{1 + 0,17 \cdot \frac{h}{r}} = \frac{1 + 0,5 \cdot \frac{10}{50}}{1 + 0,17 \cdot \frac{10}{50}} = 1,06 \quad (5.19)$$

$$W_{ext} = W_d \cdot k_{ext} = 83200 \cdot 1,06 = 88192 \text{ cm}^3 \quad (5.20)$$

$W_{int} < W_{ext}$, todėl tolimesniems skaičiavimams naudojamas nepalankesnis W_{int}

Klijuotos medienos skaičiuojamasis stipris lenkiant kai elemento aukštis iki 600 mm:

$$f_{m,g,d}^* = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{28}{1,25} = 17,92 \text{ N/mm}^2; \quad (5.21)$$

Analogiškai kaip ir gniuždymo stipriui, įvertinami koeficientai:

$$f_{m,g,d} = f_{m,g,d}^* \cdot k_r \cdot k_{sl} \cdot k_h = 17,92 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 0,83 = 14,13 \text{ N/mm}^2 \quad (5.22)$$

Posūkio aplink išilginę ašį, koeficientas φ_M :

$$\varphi_M = 140 \cdot \frac{b^2}{l_d \cdot h} \cdot k_M = 140 \cdot \frac{0,195^2}{6,62 \cdot 1,6} \cdot 1,13 = 0,57 \quad (5.23)$$

l_d – gniuždomą briauną įtvirtinus nuo poslinkio iš lenkimo plokštumos tarpiniuose taškuose – atstumas tarp šių taškų

$k_M = 1,13$ - koeficientas, priklausantis nuo elemento lenkiamųjų momentų diagramos formos l_d ruože, nustatomas pagal [5] 1 priedo 2 lentelės formules.

$$\frac{1226 \cdot 10^3}{0,47 \cdot 0,312 \cdot 13,37 \cdot 10^6} + \left(\frac{1124,27 \cdot 10^3}{0,57 \cdot 77376 \cdot 10^{-6} \cdot 14,13 \cdot 10^6} \right)^2 = 3,90 > 1 \quad (5.24)$$

Pastovumo sąlyga netenkinama. Įvertinami ryšiai skaičiavimuose, gerinantys pastovumo sąlygas.

Elemento l_{d1} ruože yra tempiamosios briaunos įtvirtinimai (ryšiai) iš lenkiamojo momento plokštumos, tada koeficientas φ_M dauginamas iš koeficiento $k_{M, mod}$, nustatomo pagal formulę:

$$\begin{aligned} k_{M, mod} &= 1 + \left[0,142 \cdot \frac{l_{d1}}{h} + 1,76 - \frac{h}{l_d} + 1,4 \cdot \alpha_d - 1 \right] \cdot \frac{n^2}{n^2 + 1} \\ &= 1 + \left[0,142 \cdot \frac{32,175}{1,6} + 1,76 - \frac{1,6}{32,175} + 1,4 \cdot 0,65 - 1 \right] \cdot 1 \\ &= 5,48 \end{aligned} \quad (5.25)$$

$$\text{Kai } n \geq 4, \text{ tai } \frac{n^2}{n^2+1} = 1;$$

n – tempiamosios zonos zonos tarpinių įtvirtinimų (ryšių) skaičius ruože l_d ;

o koeficientas φ – iš koeficiento $k_{N, mod}$, nustatomo pagal formulę:

$$\begin{aligned} k_{N, mod} &= 1 + \left[0,75 + 0,06 \cdot \left(\frac{l_{d1}}{h} \right)^2 + 0,6 \cdot \alpha_d \cdot \frac{l_d}{h} - 1 \right] \cdot \frac{n^2}{n^2 + 1} \\ &= 1 + \left[0,75 + 0,06 \cdot \left(\frac{32,175}{1,6} \right)^2 + 0,6 \cdot 0,65 \cdot \frac{32,175}{1,6} - 1 \right] \cdot 1 \\ &= 32,86 \end{aligned} \quad (5.26)$$

$n = 4$,

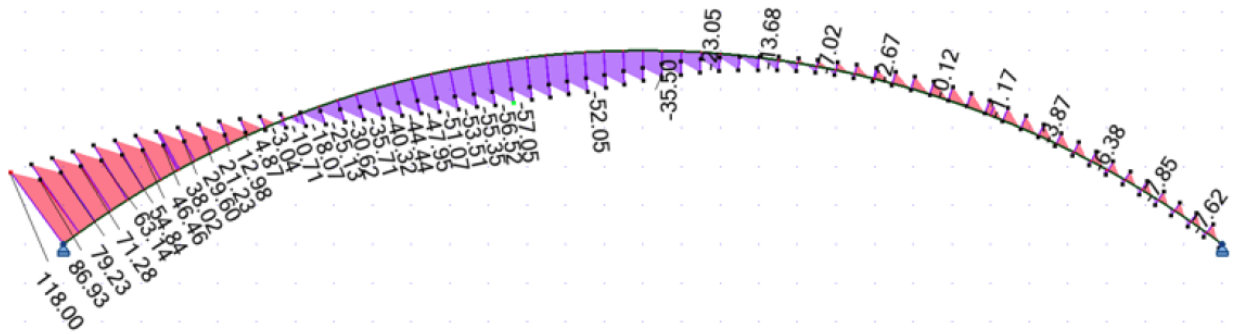
Tuomet pastovumas:

$$\frac{N_{Ed}}{\varphi \cdot k_{N, mod} \cdot A_{net} \cdot f_{c,0,g,d}} + \left(\frac{M_{Ed}}{\varphi_M \cdot k_{M, mod} \cdot W_{int} \cdot f_{m,g,d}} \right)^n < 1 \quad (5.27)$$

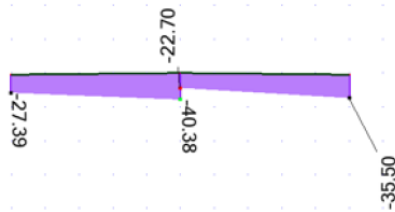
$$\begin{aligned} &\frac{1226 \cdot 10^3}{0,47 \cdot 32,86 \cdot 0,312 \cdot 13,37 \cdot 10^6} + \left(\frac{1124,27 \cdot 10^3}{0,57 \cdot 5,48 \cdot 77376 \cdot 10^{-6} \cdot 14,13 \cdot 10^6} \right)^1 \\ &= 0,35 < 1 \end{aligned} \quad (5.28)$$

Pastovumo sąlyga tenkinama.

6. KRAIGO MAZGO PROJEKTAVIMAS



6.1 pav. Skersinių jėgų diagrama pagal nepalankiausią derinį.



6.2 pav. Skersinių jėgų diagram kraigo mazge pagal nepalankiausią derinį.

Gauta didžiausią skersinę jėga ($Q=40,38$ kN) pagal derinį $26 : ULS/20=1 \cdot 1.35 + 2 \cdot 1.35 + 6 \cdot 0.78 + 4 \cdot 1.30$.

Arkos kraigo mazgui projektuojamas kaištinis lankstas. Mazgo metalo lizdo šoninės plokštelės jungiamos varžtais, kurių kiekis apskaičiuojamas. Suprojektuojamas kaištinis labiausiai įtemptas varžtas, kuris perima veikiančią arkos įrašą.

$$S_b = \sqrt{\left(\frac{M_b \cdot a_{max}}{n_b \cdot \sum a_i^2}\right) + \left(\frac{Q}{m_b}\right)} \leq T_b; \quad (6.1)$$

n_b – smeigių skaičius horizontaliąja kryptimi;

m_b – bendras smeigių skaičius;

a_{max} – atstumas tarp smeigių vertikaliąja kryptimi;

$M_b = Q \cdot e = 40,38 \cdot 0,3 = 12,12$ kNm – lenkiamasis momentas lizdo varžtų svorio centre (e – atstumas tarp lanksto centro ir varžtų svorio centro),

Q – maksimali skersinė jėga arkos mazge;

a_i – atstumas tarp smeigių, išdėstytų simetriškai lizdo ašies atžvilgiu;

Varžto laikomoji galia, kai prie medinės arkos jungiamos metalinės detalės:

$$T_b = 250 \cdot 10^5 \cdot n_k \cdot d_b^2 \cdot \sqrt{k_\alpha}; \quad (6.2)$$

n_k – smeigės kerpamųjų pjūvių skaičius;

d_b – smeigės skersmuo;

$k_\alpha = 0,95$ – koeficientas varžto laikomajai galiai sumažinti, priklausantis nuo kampo tarp veikiančios jėgos ir medienos pluošto;

Smeigių išdėstymo apribojimai, priimant, jog jungties paketo storis $b \geq 10d$.
Mažiausias atstumas tarp varžtų centrų skersine pluoštui kryptimi: $3,5d_o = 3,5 \cdot 12 = 42 \text{ mm}$;

Mažiausias atstumas nuo smeigių centro iki elemento krašto: $3d_o = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm}$;

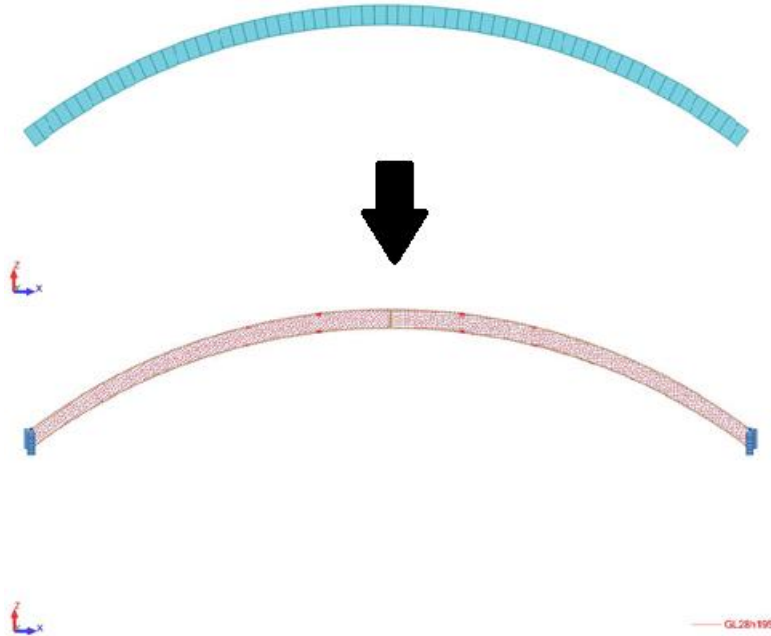
Mažiausias atstumas tarp smeigių pluošto kryptimi: $7d_o = 7 \cdot 12 = 84 \text{ mm}$;

$$T_b = 250 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 0,012^2 \cdot \sqrt{0,95} = 7017,70 \text{ N} = 7,02 \text{ kN}; \quad (6.3)$$

$$S_b = \sqrt{\left(\frac{12,12 \cdot 0,40}{1 \cdot 0,4^2}\right) + \left(\frac{40,38}{5}\right)} = 6,19 \text{ kN} \leq T_b = 7,02 \text{ kN}; \quad (6.4)$$

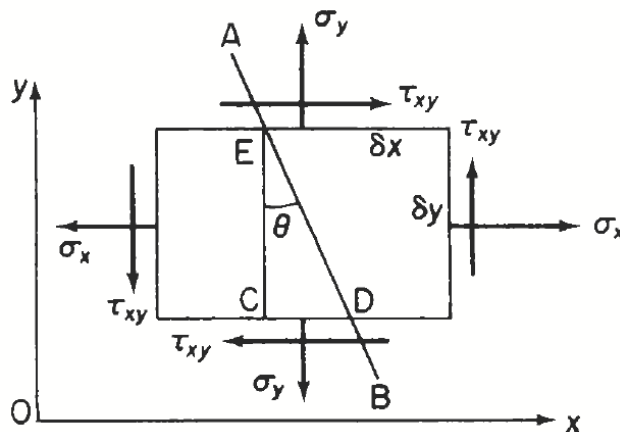
7. SKIRTINGŲ RYŠIŲ SISTEMŲ ANALITINIS MODELIAVIMAS

Arkos skerspjūvio parinkimo stiprumo atvejui skaičiuotas modelis, sudarytas iš pavienių vienodo ilgio strypų perprojektuojamas į baigtinių elementų tinklelinį modelį. Sukuriamas kontūras, kuriam priskiriama klijuotos medienos arkos geometrija ir GL28h klasės klijuotos medienos savybės.



7.1 pav. Modelio pakeitimas ROBOT programinės įrangos aplinkoje

Atlikus literatūros analizę ir pasirinkus dažniausiai praktikoje naudojamas ryšių sistemas, palyginami atvejai, kai naudojama spyrinė ar klijuotos medienos sijų ryšių sistema keičiant pozicijas klijuotos medienos arkos skerspjūvio plokštumoje. Stebimi konstrukcijos plokštumose atsirandantys įtempiai ir palyginami su ribiniais:



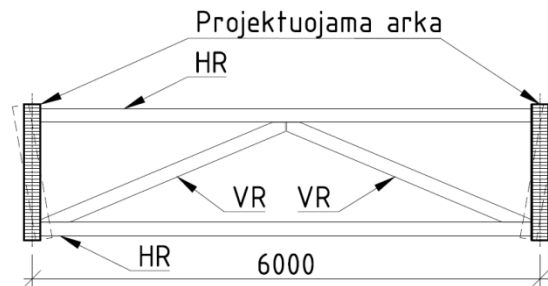
7.1 pav. Normaliniai / tangentiniai įtempiai arkos skerspjūvyje

Analizuojamas klijuotos medienos arkos deformacijų būvis pagal nepalankiausią apkrovų derinį, gaunami absoliutūs ir lokalūs įlinkiai. Palyginamos arkos skerspjūvio susisukimo vertės.

Išanalizavus skirtingas ryšių sistemas bei stebint gautus rezultatus, pasiūlomas alternatyvus sprendimas siekiant gerinti klijuotos medienos arkų erdvinį pastovumą ir mažinti deformacijas.

7.1 Spyrinės ryšių sistemos

Pirmuoju atveju suprojektuojami kryžminiai vienodo skerspjūvio klijuotos medienos ryšiai. Pagal baigtinio elemento modelį tiriama arkos elgsena, t.y. arkos įtempiai, susisukimas, poslinkiai.



7.1.1 pav. Spyrinės ryšių sistemos schema tarp arkų

Spyrinių ryšių sistemai naudojami spyriai prie arkos tvirtinant šarnyriškai. Analizuojant šią ryšių sistemą kaip visumą, spyris sudaro standų mazgą, o jo spyriuose gali atsirasti skirtingų, t.y. tempimo ir gniuždymo įrašų, kas prieštarauja ryšinės konstrukcijos sąvokai, kai spyris turi perimti tik tempimo arba gniuždymo jėgas. Nagrinėjamu atveju šios ryšių sistemos gali sukelti konstrukcijų susisukimą, ryšiai yra liauni, kas mažina atsparumą gaisro atveju. Galiniuose tarpsniuose arkos papildomai užstandinamos plieniniais strypais, sukuriant standžius blokus.

Standartinis elemento stipris tempiant ir gniuždant, kurio aukštis iki 600 mm, apskaičiuojamas pagal šia formulę:

$$f_{c,0,g,d}^* = k_{mod} \cdot \frac{f_{c(t),0,g,k}}{\gamma_m} \quad (7.1.1)$$

$$f_{c,0,g,d}^* = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{26,5}{1,25} = 16,96 \text{ N/mm}^2 \quad (7.1.2)$$

$$f_{t,0,g,d}^* = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{19,5}{1,25} = 12,48 \text{ N/mm}^2 \quad (7.1.3)$$

Pagal 5 skyriaus medinės arkos skaičiavimą, dėl skerspjūvio aukščio, skaičiuotinis medienos stipriai gniuždant ir tempiant:

$$f_{c,0,g,d} = f_{c,0,g,d}^* \cdot k_r \cdot k_{sl} \cdot k_h = 16,96 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 0,83 = 13,37 \text{ N/mm}^2 \quad (7.1.4)$$

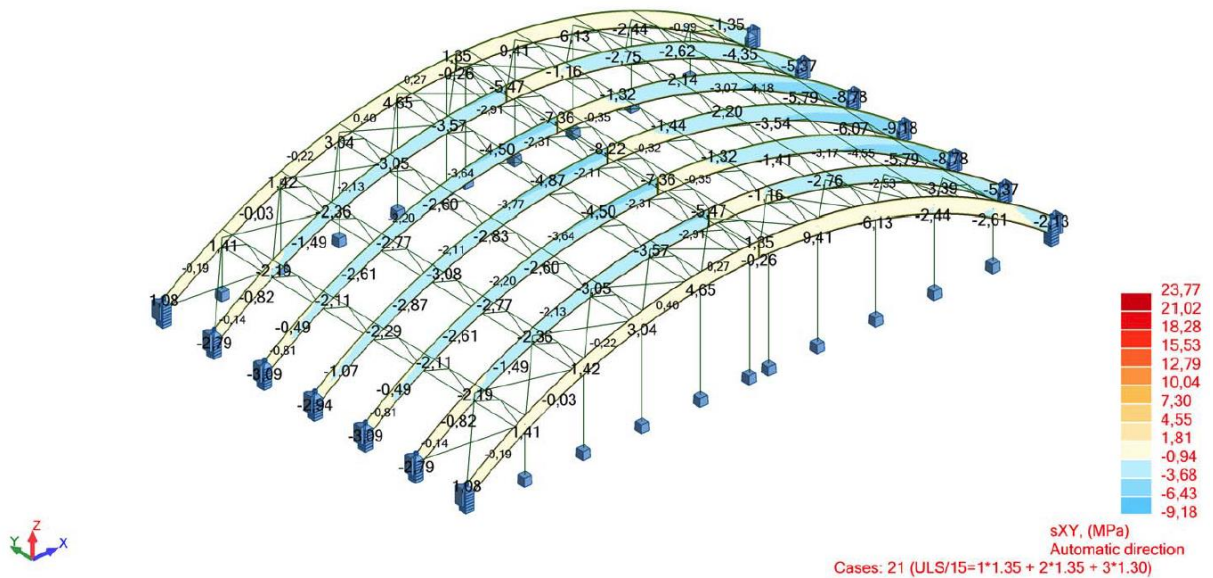
$$f_{t,0,g,d} = f_{t,0,g,d}^* \cdot k_r \cdot k_{sl} \cdot k_h = 12,48 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 0,83 = 9,84 \text{ N/mm}^2 \quad (7.1.5)$$

Tiriamas skaičiuotinis modelis nuo didžiausius įtempius turinčio derinio:

$$21 : \text{ULS}/15=1 \cdot 1.35 + 2 \cdot 1.35 + 3 \cdot 1.30$$

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} klijuotos medienos arkoje pateikti P.3.1 priede.

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xy} klijuotos medienos arkoje:

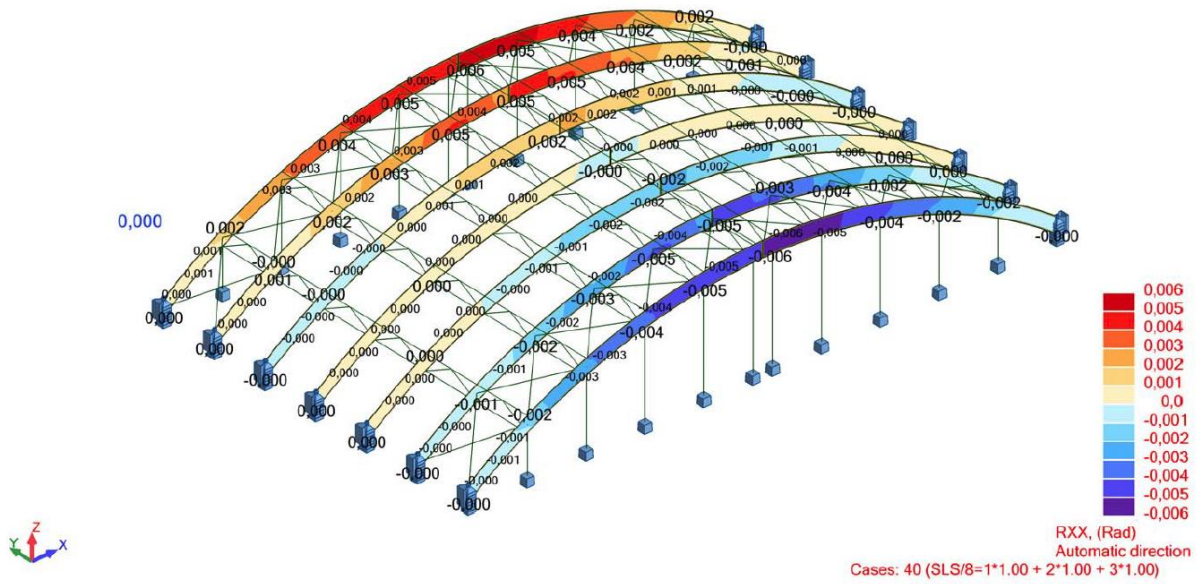


7.1.2 pav. Įtempiai S_{xy} (Mpa)

Pagal gautus rezultatus, matomas įtempių suintensyvėjimas ties spyriniais ryšiais. Maksimali gauta reikšmė $S_{xy} = 8,22 \text{ MPa}$, maksimalių klijuotos medienos tempimo įtempių $f_{t,0,g,d}$.

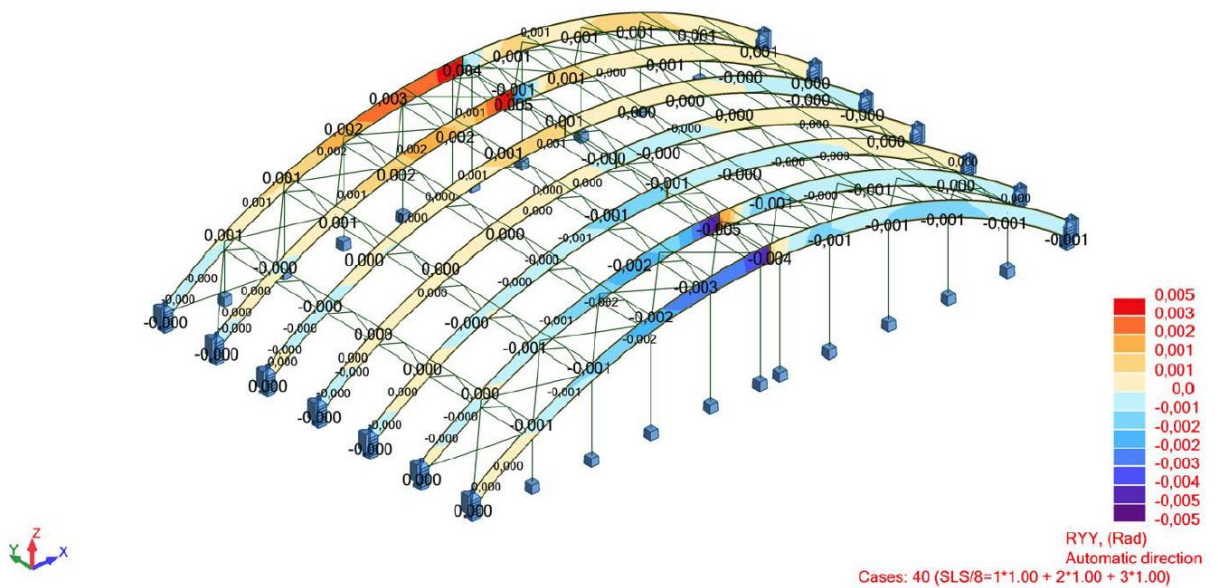
Didesni įtempiai pastebimi ir ties atramomis, kurie viršija leistinus. Atraminiams šarnyriniams mazgams reikalingas papildomas modeliavimas.

Susisukimai (rad) xx ašyje:



7.1.3 pav. Susisukimai R_{xx} (rad)

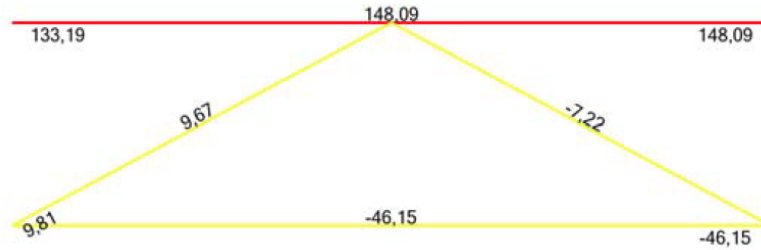
Susisukimai (rad) yy ašyje:



7.1.4 pav. Susisukimai R_{yy} (rad)

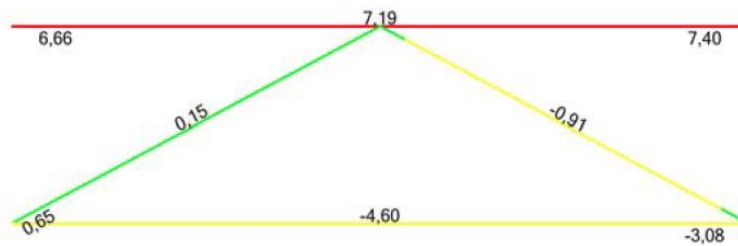
Maksimalūs susisukimai $R_{xx}=0,006$ rad, $R_{yy}=0,005$ rad.

Deformacijos (mm):



7.1.7 pav. Ašinių jėgų pasiskirstymas ryšio elemente F_x (kN)

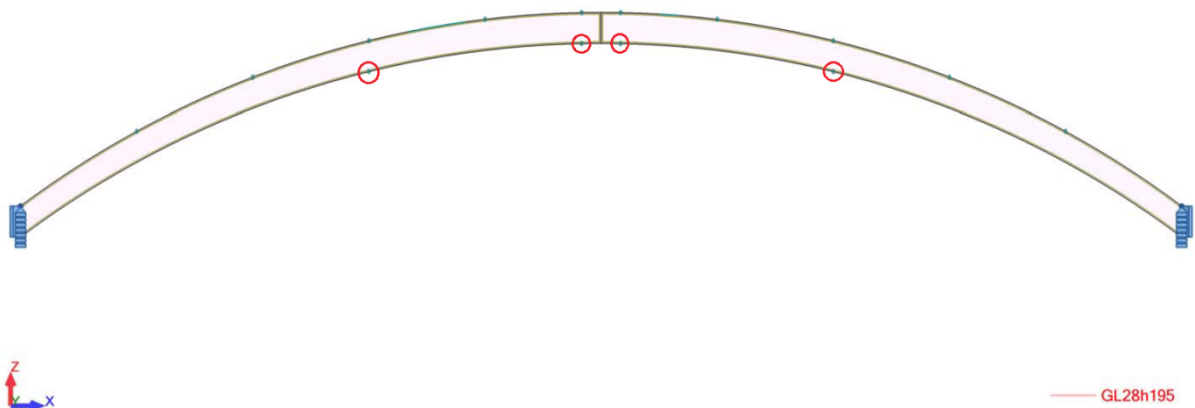
Dėl susidariusio standaus mazgo ryšio elementas gauna ašines tempimo ir gniuždymo jėgas, kas prieštarauja ryšio savokai, atsiranda momentas, todėl konstrukcijos mazgai apkraunami papildomai, atsiranda tikimybė elemento susisukimui:



7.1.8 pav. Normalinių įtempių pasiskirstymas ryšio elemente S (MPa)

7.2 *Klijuotos medienos sijų ryšiai su papildomais arkos skerspjūvio apatinės dalies suvaržymais*

Trečiuoju bandymu arkoje ryšiai išdėstomi analogiškai kaip ir antruoju bandymu tačiau apatinė klijuotos medienos arkos skerspjūvio dalis suvaržoma klijuotos medienos sijomis. Sijos įvedamos apatinėje klijuotos medienos arkos skerspjūvio dalyje kraigo mazgo vietoje, ir po du ryšius ties didžiausiomis deformacijos vietomis kiekvienoje pusarkėje:



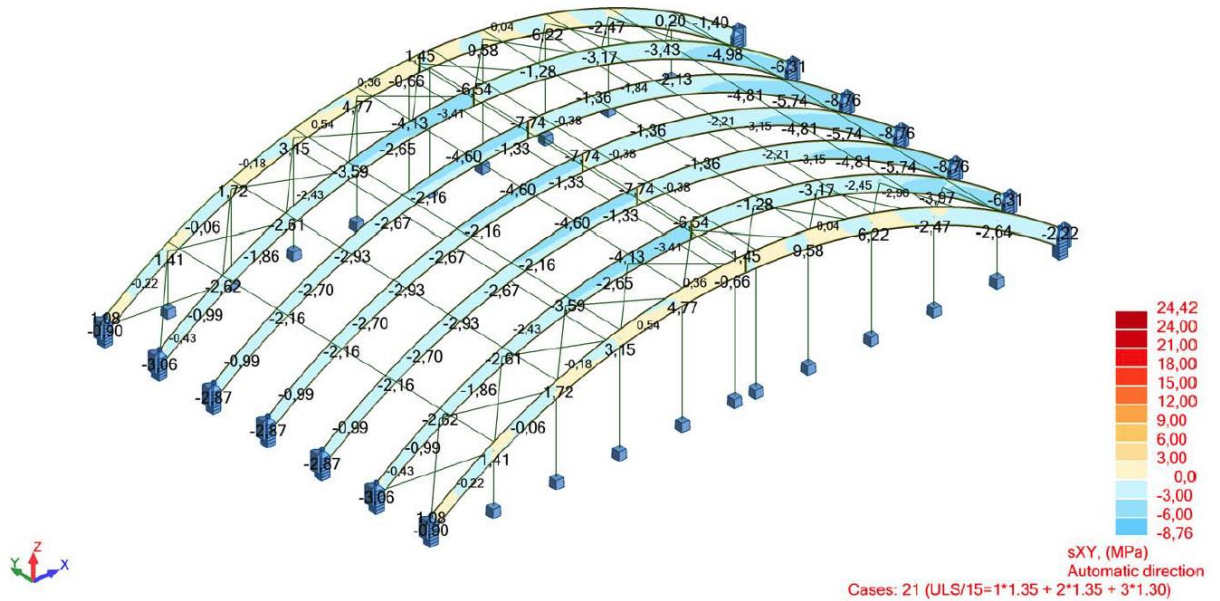
7.3.1 pav. Papildomų ryšių išdėstymo arkoje schema

Tiriamas skaičiuotinis modelis nuo didžiausius įtempius turinčio derinio:

$$21 : ULS/15=1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.30$$

Gauti maksimālūs ītempiai S_{xx} ir S_{yy} klijuotos medienos arkoje pateikti P.3.3 priede.

Gauti maksimālūs ītempiai S_{xy} klijuotos medienos arkoje:

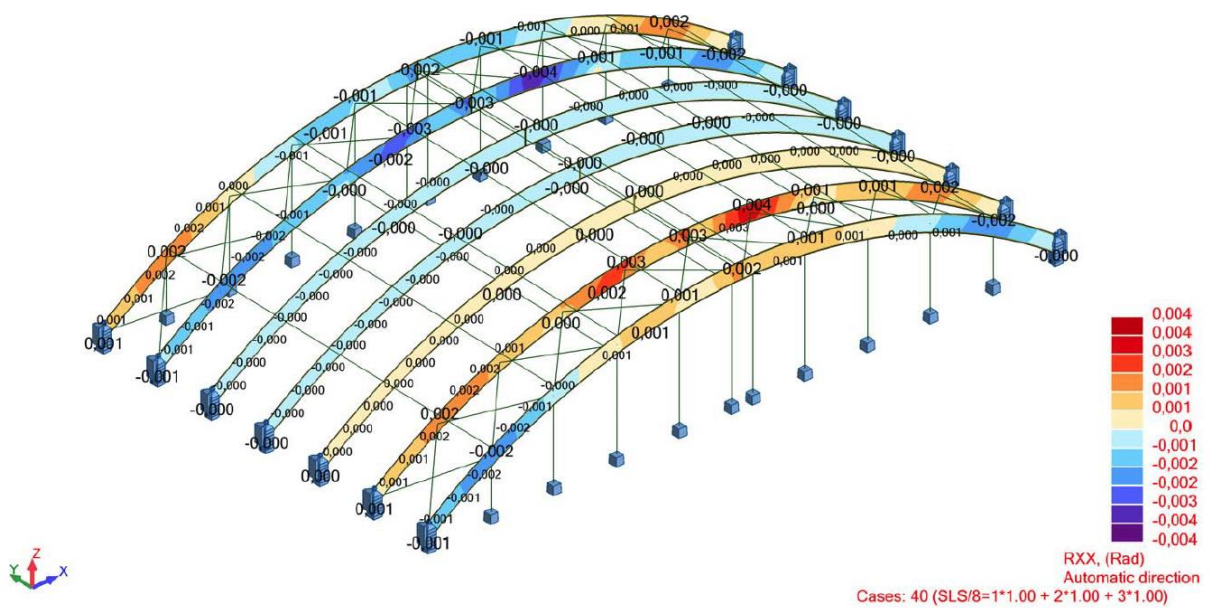


7.3.2 pav. Ītempiai S_{xy} (Mpa)

Maksimāli gauta reikšmē $S_{xy} = -7,74 \text{ MPa}$, neviršija maksimāliju klijuotos medienos tempimo ītempiju $f_{t,0,g,d}$.

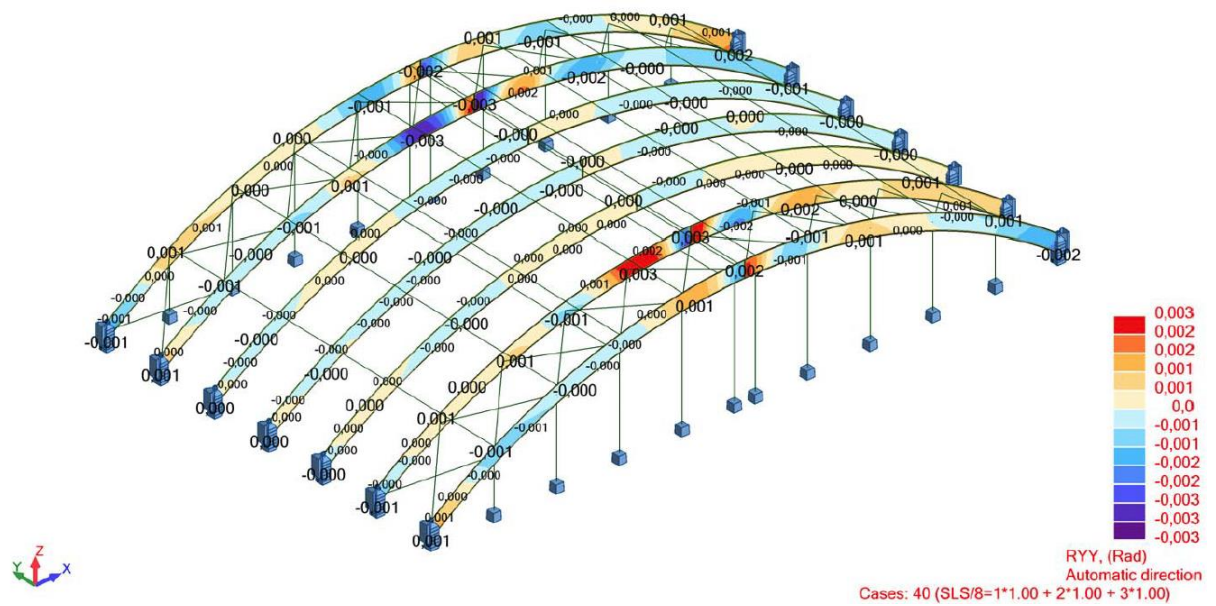
Didesni ītempiai pastebimi paviršiuose, dēl atlaisvinto klijuotos medienos skerspjūvio iš plokštumos.

Susisukimai (rad) xx ašyje:



7.3.3 pav. Susisukimai R_{xx} (rad)

Susisukimai (rad) yy ašyje:

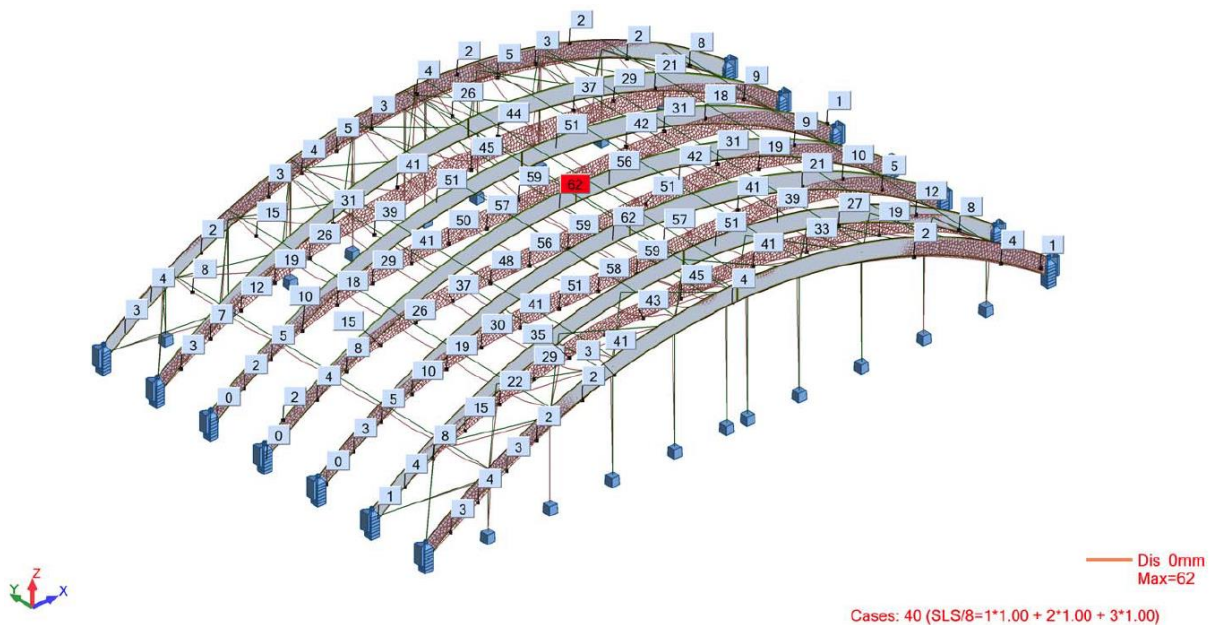


7.3.4 pav. Susisukimai R_{yy} (rad)

Maksimalūs susisukimai $R_{xx}=0,004$ rad, $R_{yy}=0,003$ rad.

Suvaržius apatinę klijuotos medienos arkos skerspjūvio dalį pastebimi mažesni susisukimai.

Deformacijos (mm):



7.3.5 pav. Deformacijos (mm)

Naudojant klijuotos medienos sijas su papildomais suvaržymais gautas maksimalus įlinkis – 62 mm. Pastebimi sumažėję susisukimai.

7.4 Klijuotos medienos sijų ryšiai išdėstyti centre klijuotos medienos skerspjūvio plokštumos



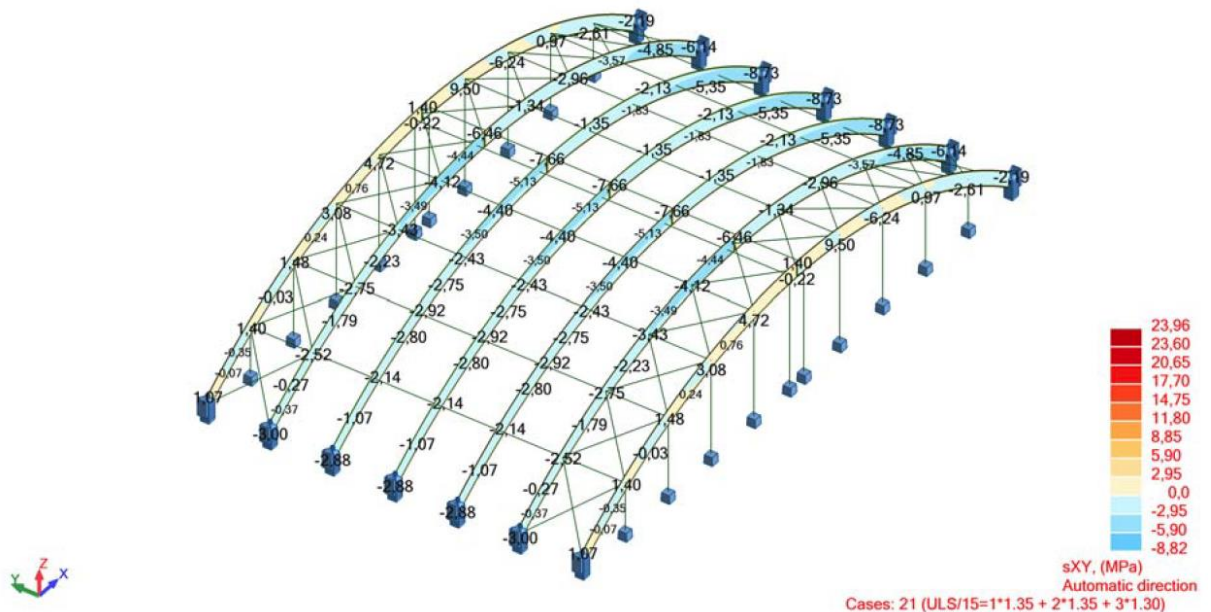
7.4.1 pav. Ryšių sijos, pritvirtintos centre klijuotos medienos arkos

Tiriamas skaičiuotinis modelis nuo didžiausius įtempius turinčio derinio:

$$21 : \text{ULS}/15 = 1 \cdot 1.35 + 2 \cdot 1.35 + 3 \cdot 1.30$$

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} klijuotos medienos arkoje pateikti P.3.4 priede.

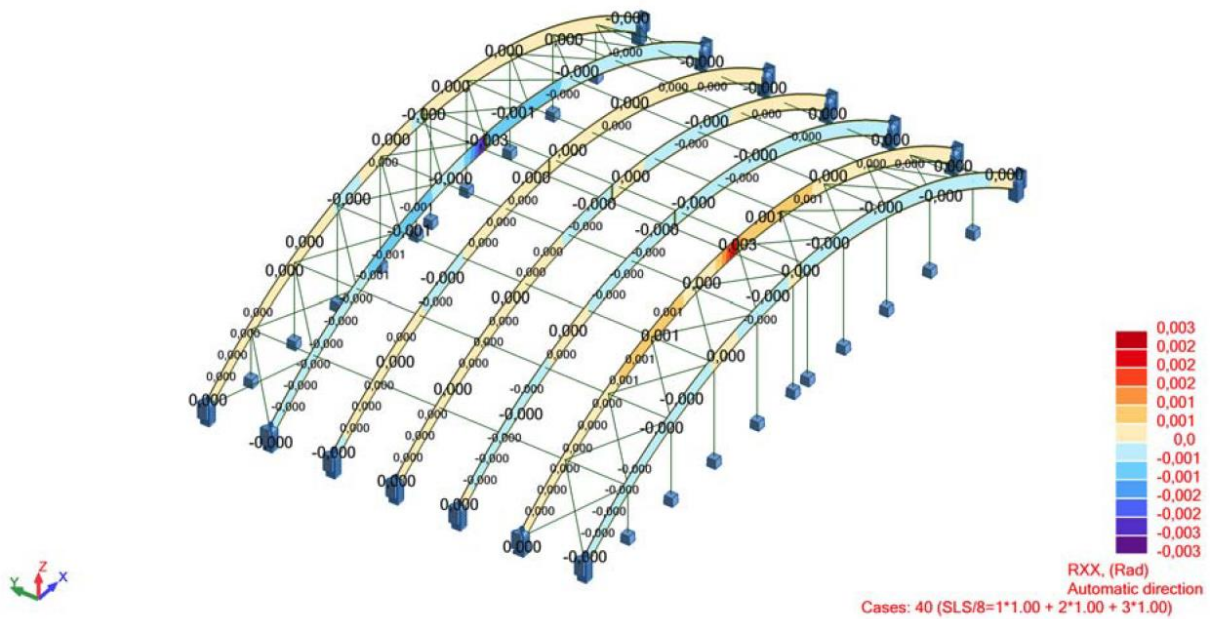
Gauti maksimalūs įtempiai S_{xy} klijuotos medienos arkoje:



7.4.2 pav. Įtempiai S_{xy} (Mpa)

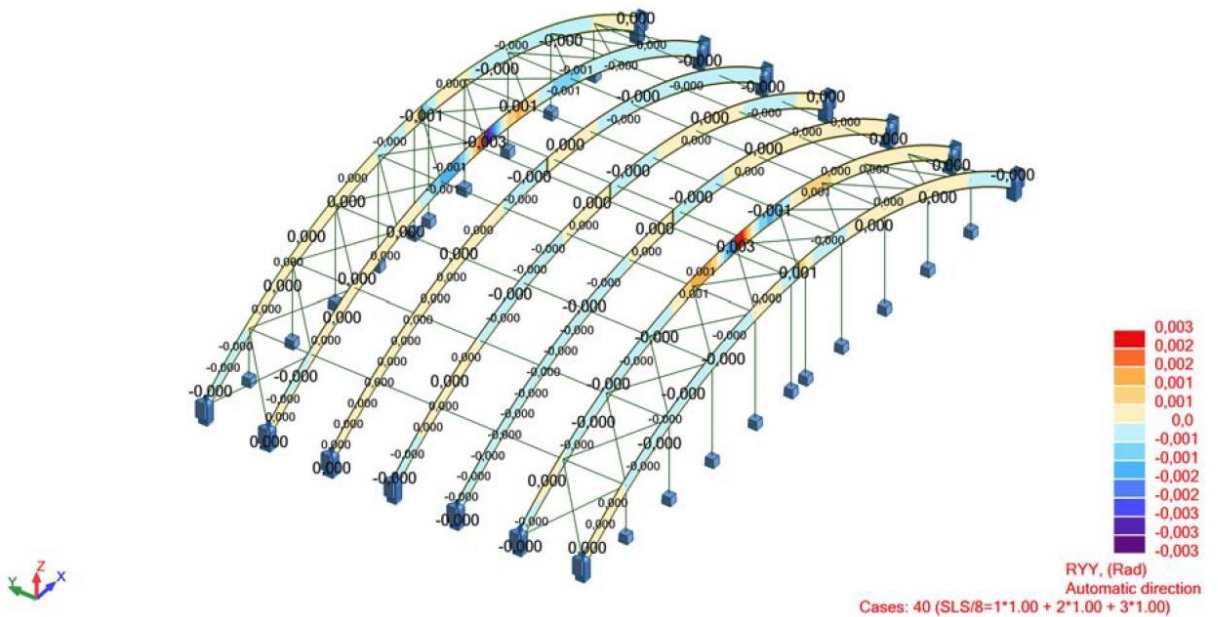
Maksimali gauta reikšmė $S_{xy} = -7,56 \text{ MPa}$, neviršija maksimalių klijuotos medienos tempimo įtempių $f_{t,0,g,d}$.

Susisukimai (rad) xx ašyje:



7.4.3 pav. Susisukimai R_{xx} (rad)

Susisukimai (rad) yy ašyje:

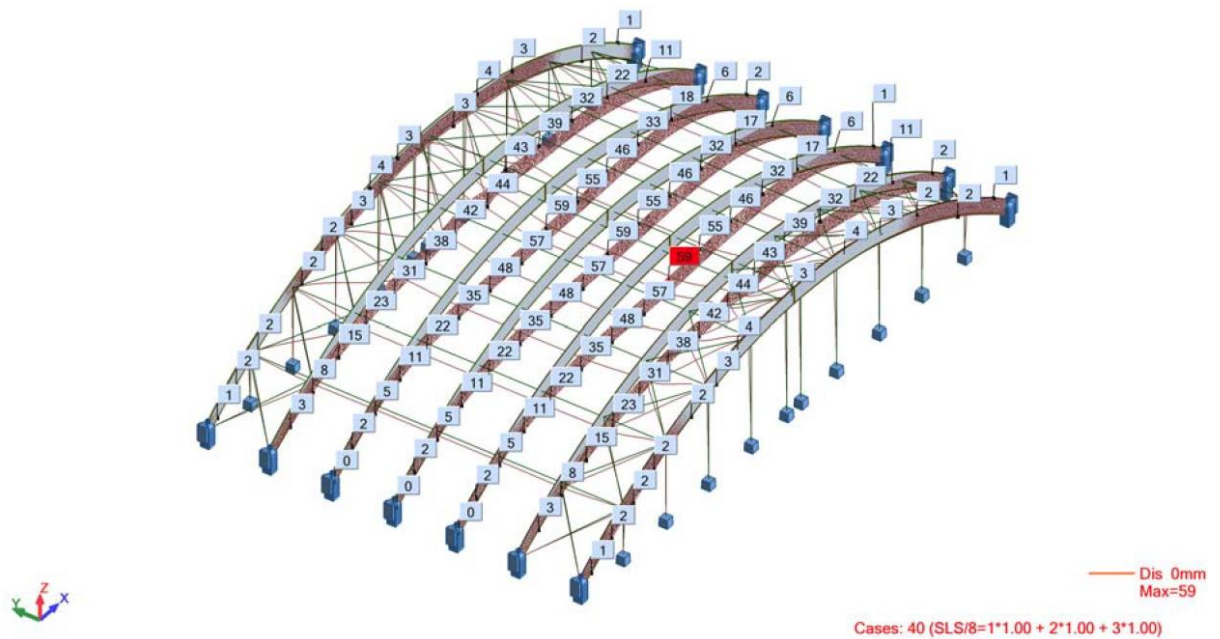


7.4.4 pav. Susisukimai R_{yy} (rad)

Maksimalūs susisukimai $R_{xx}=0,003$ rad, $R_{yy}=0,003$ rad.

Dėstant ryšius per vidurį arkos skerspjūvio, gautos mažiausios susisukimo vertės.

Deformacijos (mm):

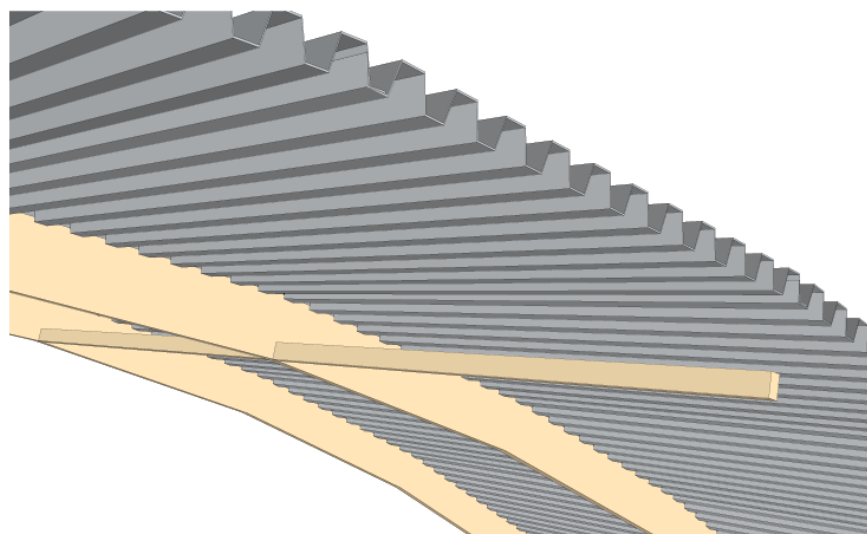


7.4.5 pav. Deformacijos (mm)

Naudojant klijuotos medienos sijas, išdėstytas centre klijuotos medienos arkos gautas maksimalus įlinkis – 59 mm. Pastebimi sumažėję susisukimai.

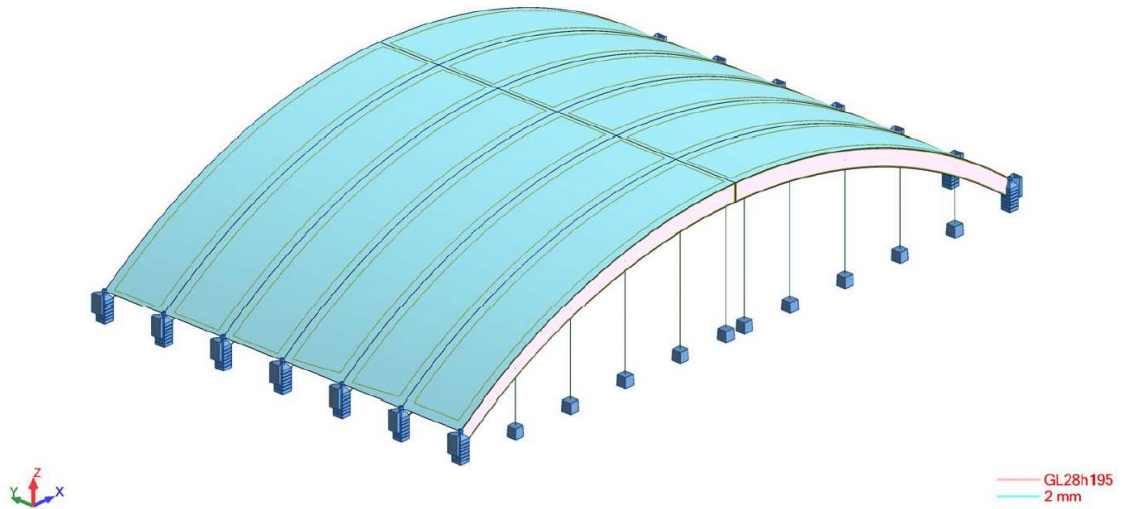
7.5 Klijuotos medienos arka suvaržoma iš plokštumos profiliuotos skardos lakštais viršutinėje juostoje ir išdėstomi sijų ryšiai apatinėje juostoje.

Didelių tarpatramių pastatų projektavime dėl ekonomiškumo ir standžios diafragmos užtikrinimo naudojami profiliuotos skardos lakštai, kurių pagalba vertikalios stogo denginio jėgos perduodamos klijuotos medienos arkos konstrukcijai, o horizontalios jėgos veikia kaip per diafragmą. Šiuo atveju klijuotos medienos arkos konstrukcija suvaržoma viršutinėje skerspjūvio dalyje profiliuotos skardos lakštais, o apačioje dėl susisukimo suvaržoma horizontaliais ryšiais:



7.5.1 pav. Klijuotos medienos arkos suvaržymas

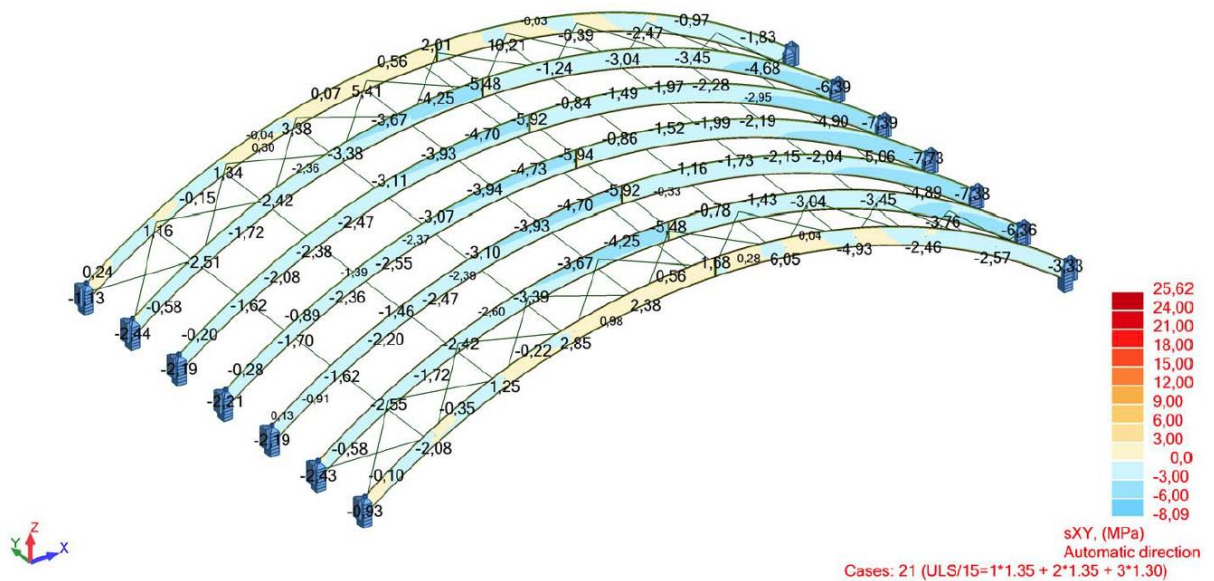
Skaičiavimo modelyje įvedamos panelės, aprašant elementus kaip 1-2 mm storio metalinės plokštės, suvaržančios arkos konstrukcijas viršutinėje dalyje:



7.5.2 pav. Klijuotos medienos arkos skaičiuotinis modelis

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} klijuotos medienos arkoje pateikti P.3.5 priede.

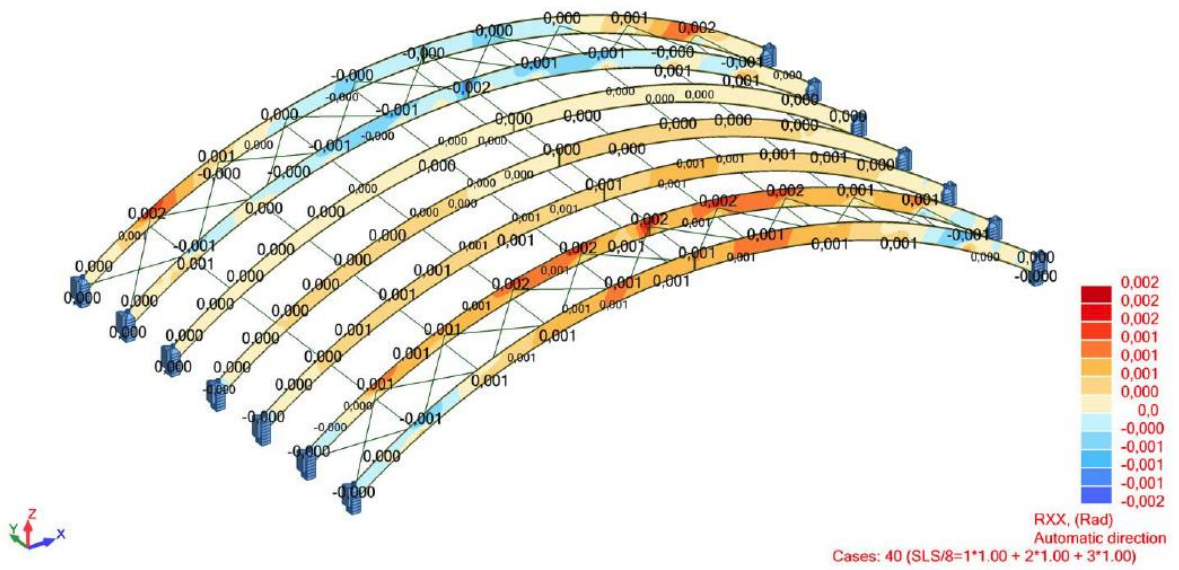
Gauti maksimalūs įtempiai S_{xy} klijuotos medienos arkoje:



7.5.3 pav. Įtempiai S_{xy} (Mpa)

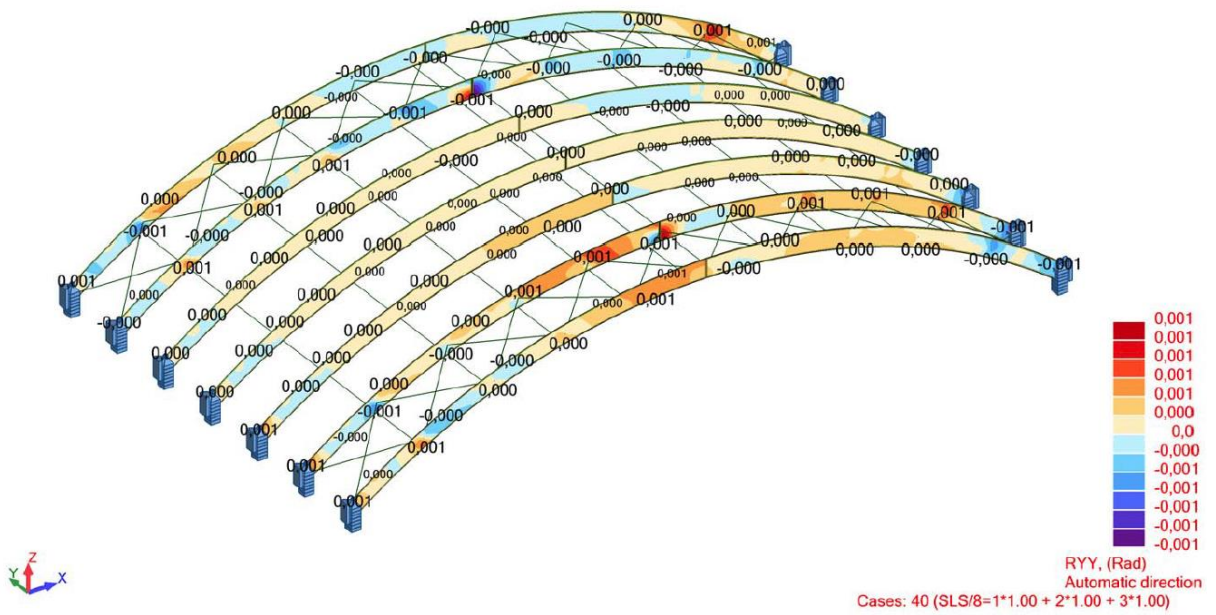
Maksimali gauta reikšmė $S_{xy} = -6,06 \text{ MPa}$, neviršija maksimalių klijuotos medienos tempimo įtempių $f_{t,0,g,d}$.

Susisukimai (rad) xx ašyje:



7.5.4 pav. Susisukimai R_{xx} (rad)

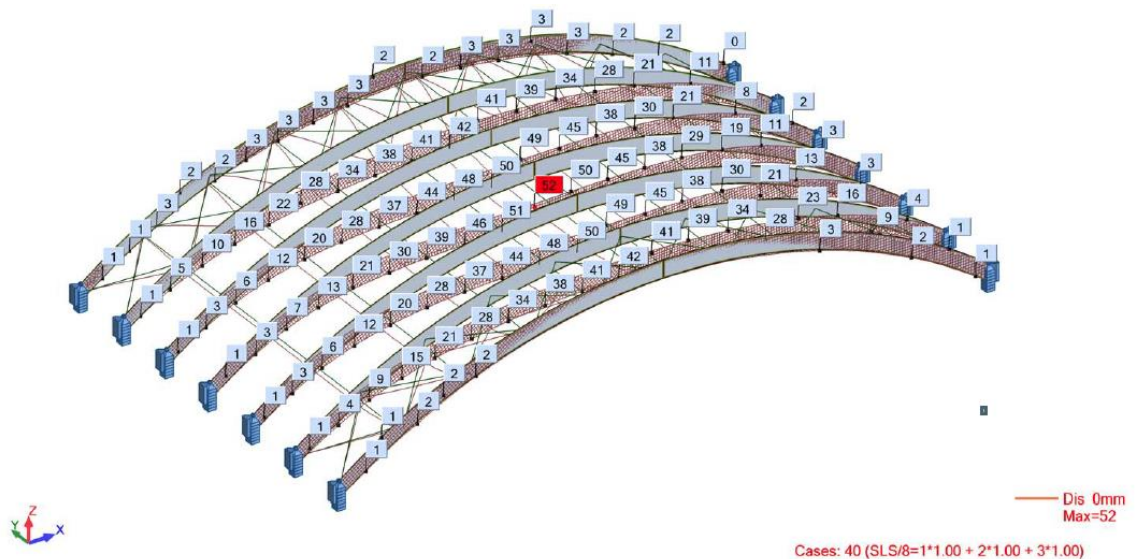
Susisukimai (rad) yy ašyje:



7.5.5 pav. Susisukimai R_{yy} (rad)

Maksimalūs susisukimai $R_{xx}=0,002$ rad, $R_{yy}=0,001$ rad.

Dėstant ryšius per vidurį arkos skerspjūvio, gautos mažiausios susisukimo vertės.



Deformacijos (mm):

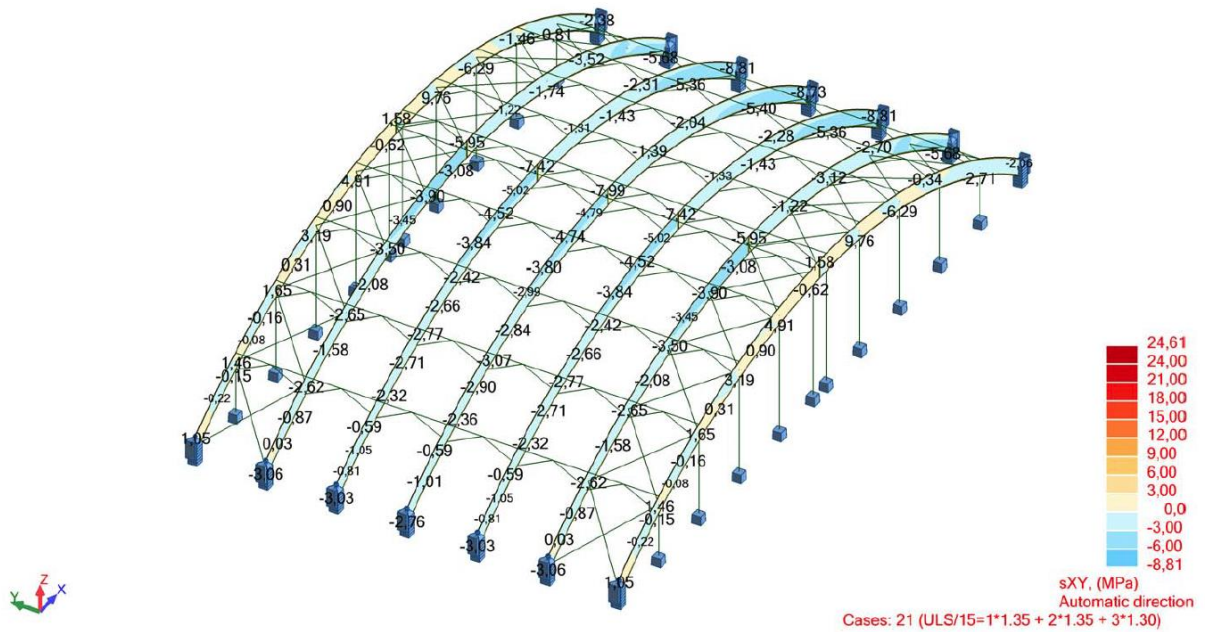
7.5.6 pav. Deformacijos (mm)

Naudojant paklotą kaip viršutinės arkos suvaržymą iš plokštumos ir klijuotos medienos sijas, išdėstytas apačioje klijuotos medienos arkos gautas maksimalus įlinkis – 52 mm. Pastebimi sumažėję susisukimai.

7.6 Klijuotos medienos arka suvaržoma iš plokštumos klijuotos medienos sijomis viršutinėje skerspjuvio dalyje su papildomais spyriais apatinėje

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} klijuotos medienos arkoje pateikti P.3.6 priede.

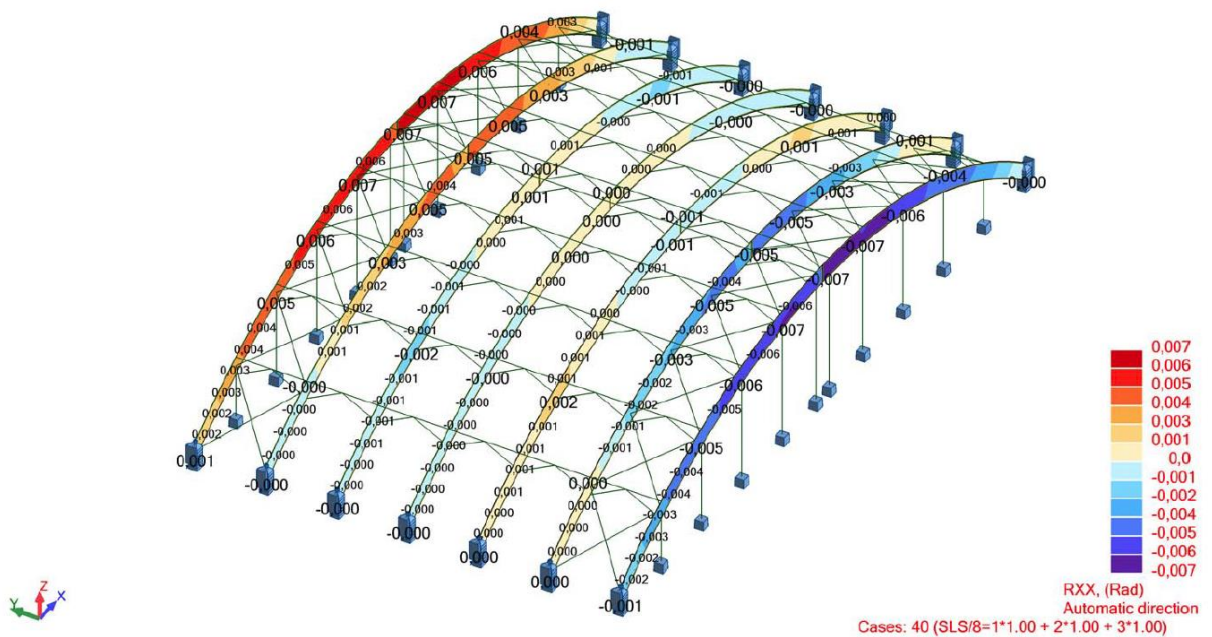
Gauti maksimalūs įtempiai S_{xy} klijuotos medienos arkoje:



7.6.1 pav. Įtempiai S_{xy} (Mpa)

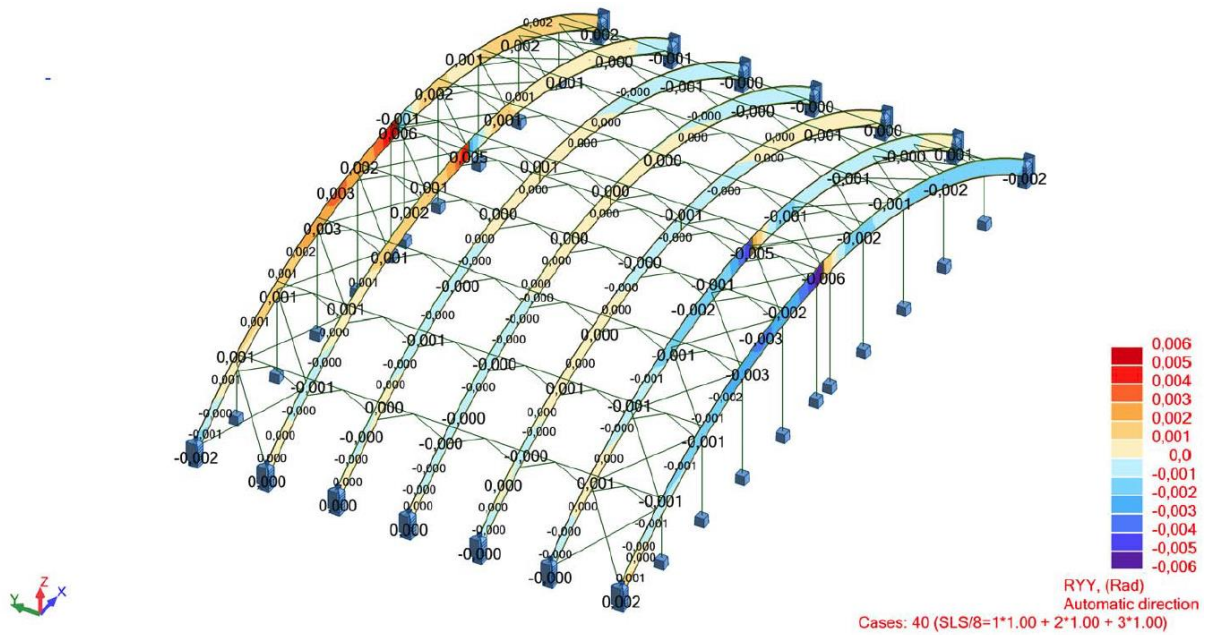
Maksimali gauta reikšmė $S_{xy} = -7,99 \text{ MPa}$, neviršija maksimalių klijuotos medienos tempimo įtempių $f_{t,0,g,d}$.

Susisukimai (rad) xx ašyje:



7.6.2 pav. Susisukimai R_{xx} (rad)

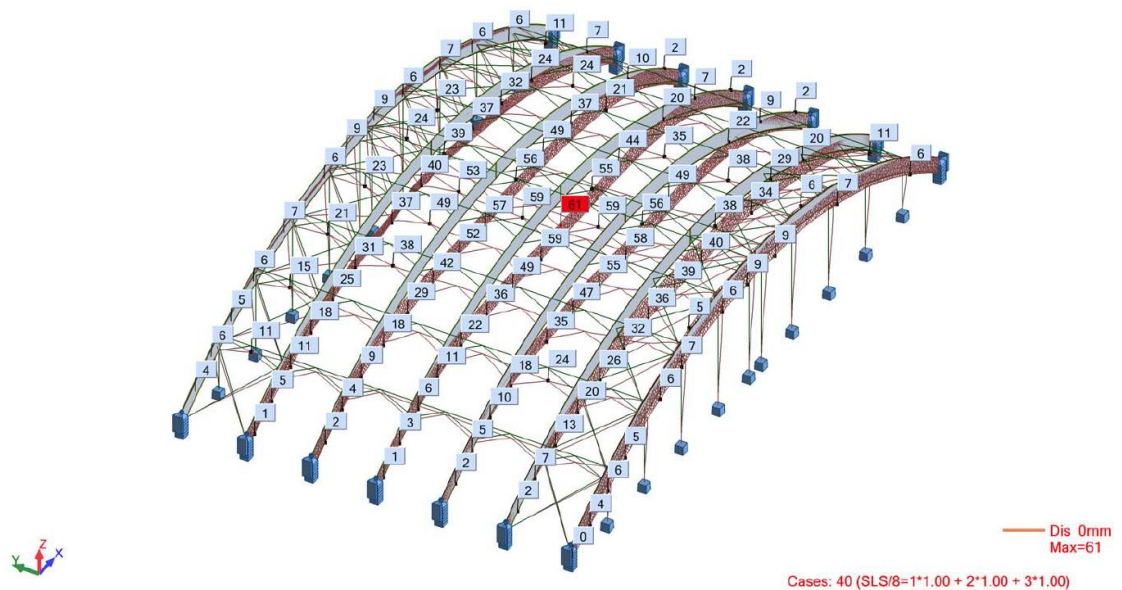
Susisukimai (rad) yy ašyje:



7.6.3 pav. Susisukimai R_{yy} (rad)

Maksimalūs susisukimai $R_{xx}=0,007$ rad, $R_{yy}=0,006$ rad.

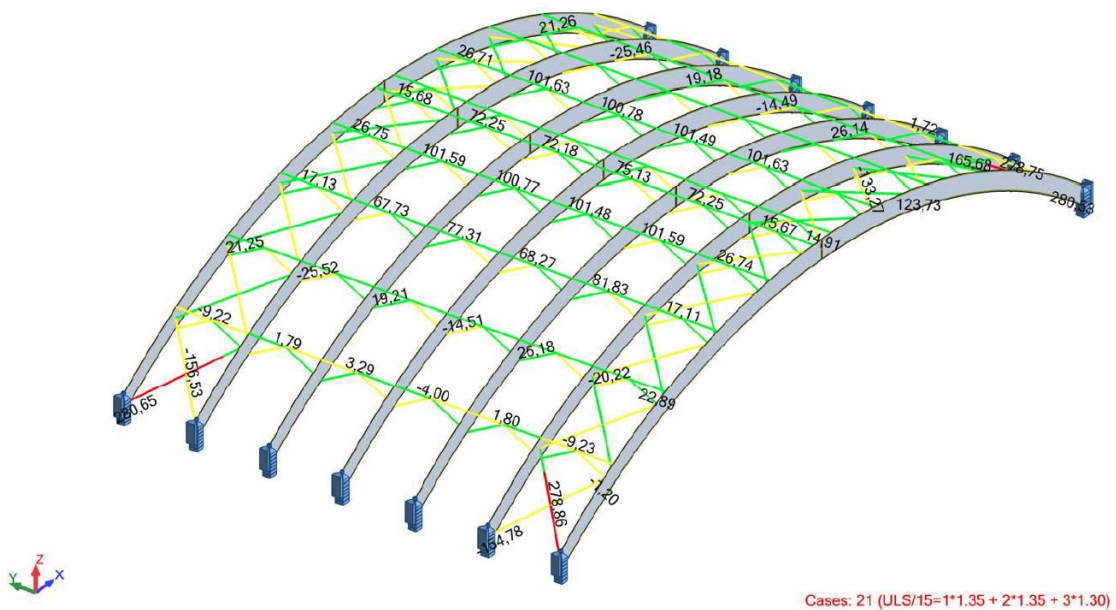
Dėstant ryšius per vidurį arkos skerspjūvio, gautos mažiausios susisukimo vertės.



Deformacijos (mm):

7.6.4 pav. Deformacijos (mm)

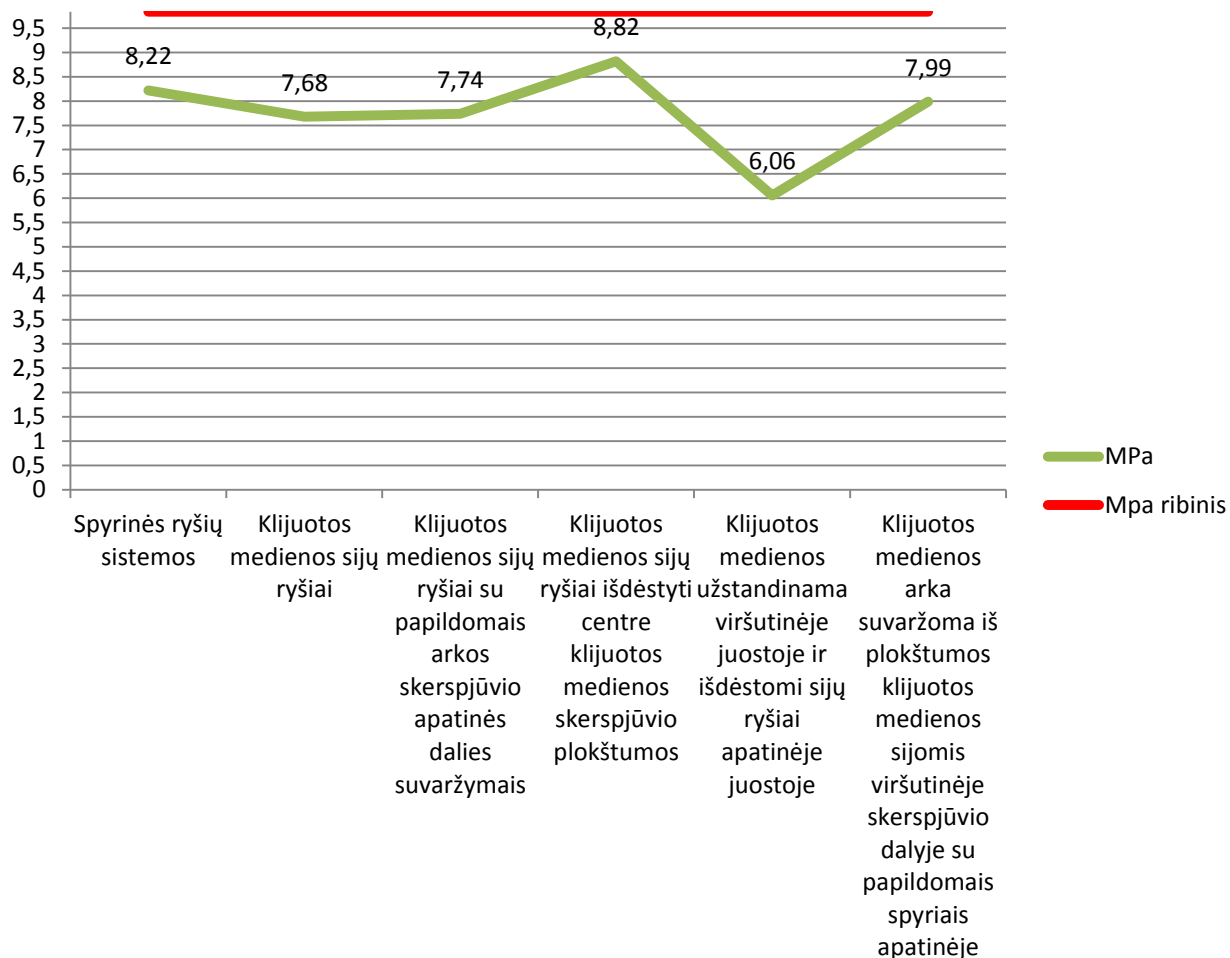
Naudojant šiuos spyrinių konstrukcijų ryšius, klijuotos medienos arkos gautas maksimalus įlinkis – 61 mm. Pastebimi sumažėję susisukimai. Tiriamas įrašų pasiskirstymas ryšių sistemoje ir gautos ašinių jėgų išsiskirstymas elementuose nuo nepalankiausio derinio:



7.6.5 pav. Ašinių jėgų pasiskirstymas ryšių sistemose F_x (kN)

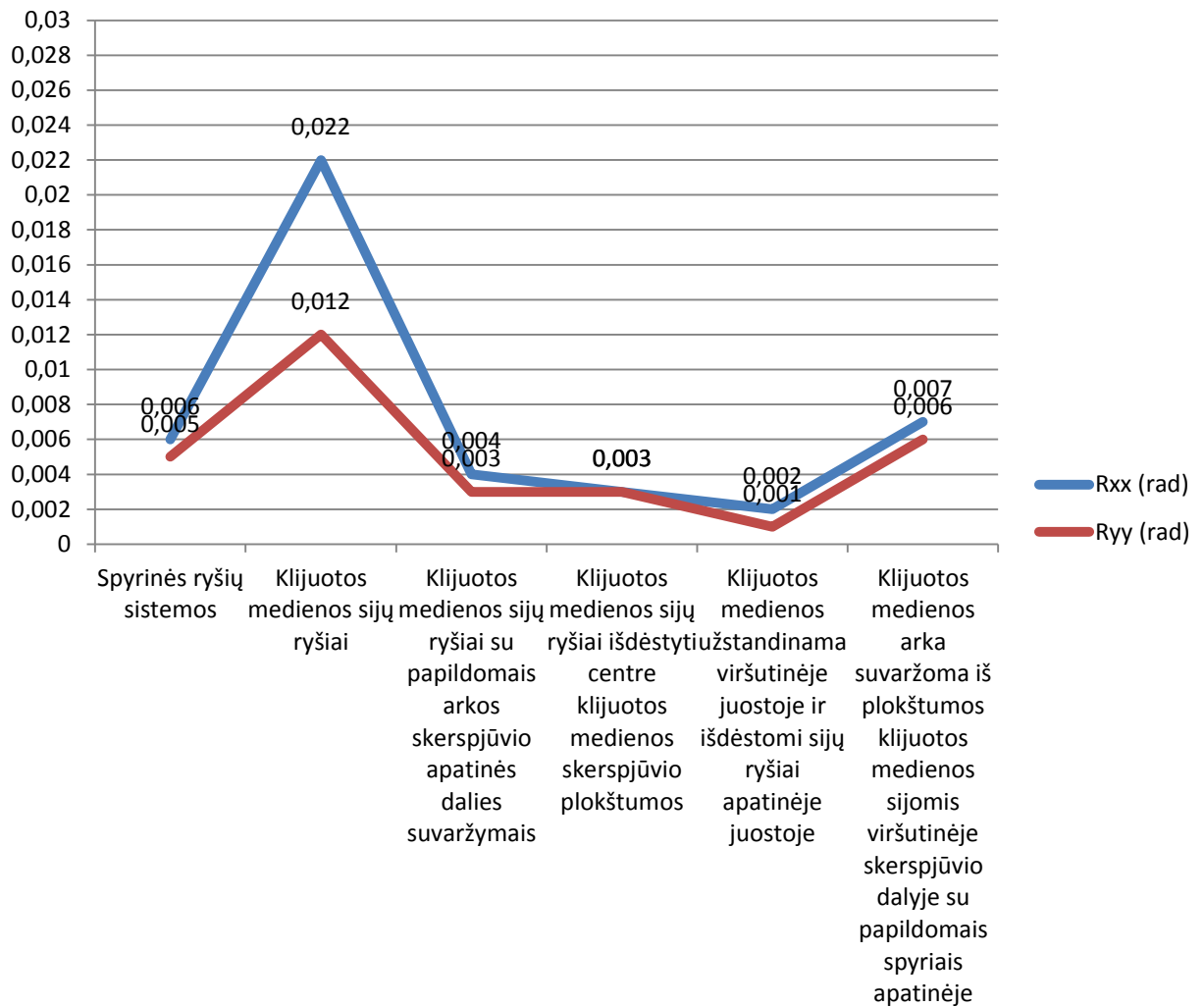
7.7 Ryšių sistemų analitinio modeliavimo gautų rezultatų palyginimas

Lyginant skirtingas ryšių sistemas gauti įtempių rezultatai išlieka panašūs. Neatsižvelgiant į paviršinius S_{xx} ir S_{yy} įtempius, kurie susidaro dėl mazguose susitelkusių ir persidavusių per ryšių sistemas jėgų, bendrieji įtempiai S_{xy} sąveikauja panašių reikšmių, (S_{xy} $S_{xy} \approx 7,5 \text{ MPa}$, kurios neviršija ribinių GL28h klijuotos medienos įtempių ($f_{c,0,g,d} = 13,37 \text{ N/mm}^2$; $f_{t,0,g,d} = 9,84 \text{ N/mm}^2$) įvertintų pagal skerspjūvio aukštį:



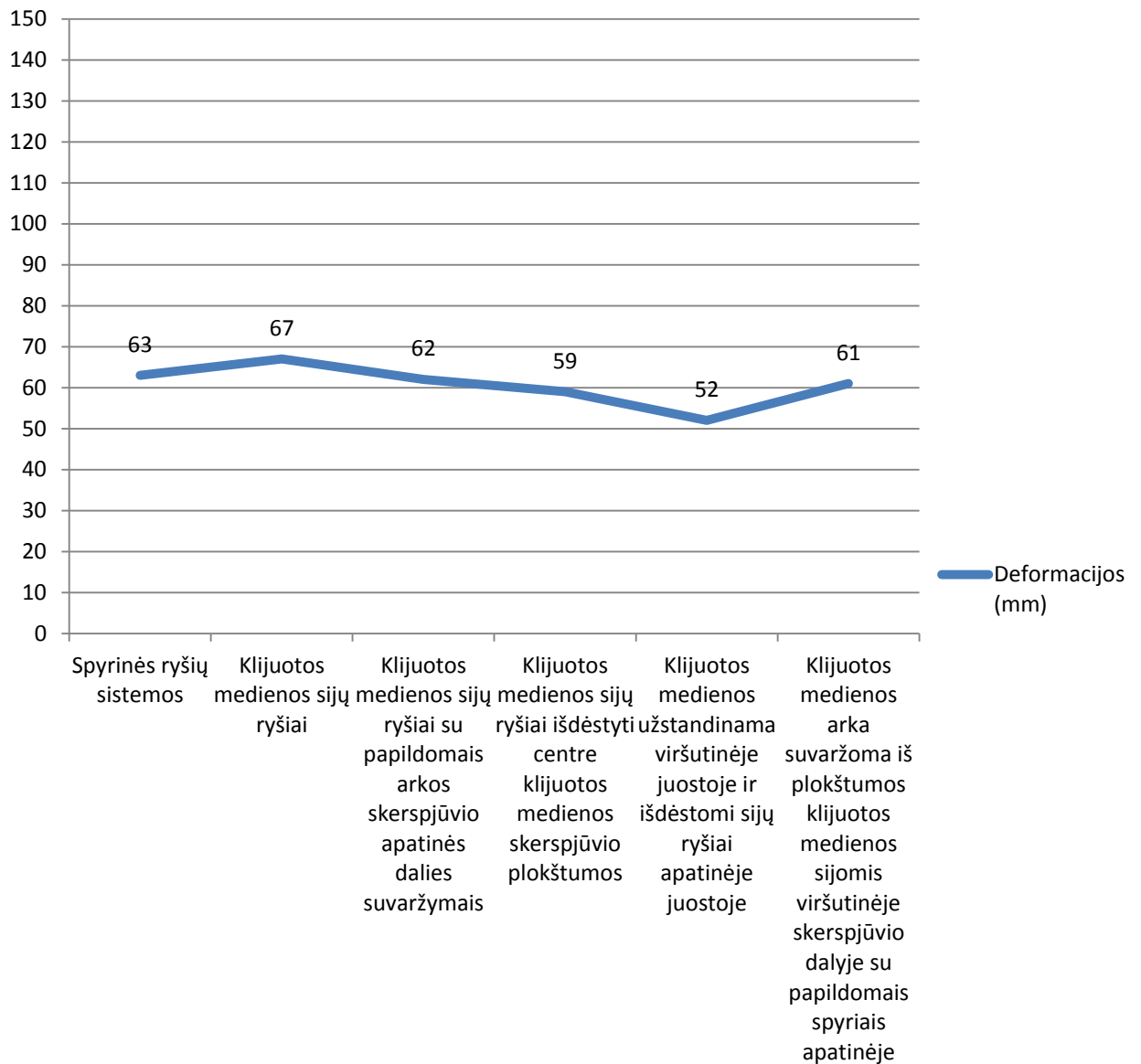
7.7.1 pav. Įtempiai nuo skirtingų ryšių sistemų

Pastebimas skirtumas vertinant bendrus konstrukcijų poslinkius nuo skirtingų ryšių sistemų. Gauti didesni susisukimų ir įlinkių rezultatai užstandintoje sistemoje naudojant sijinius ryšius viršutinėje klijuotos medienos arkos skerspjūvio dalyje ir gauti mažiausi naudojant užstandintą viršutinę skerspjūvio dalį su papildomais suvaržymais apatinėje:



7.7.2 pav. Susisukimai R_{xx} ir R_{yy} nuo skirtingų ryšių sistemų

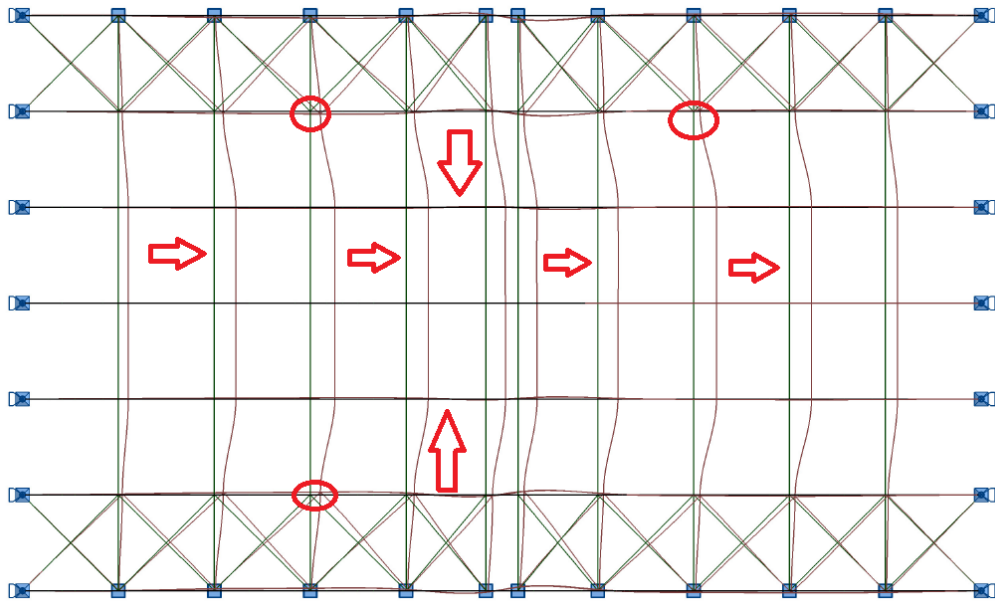
Gautos didžiausios konstrukcijų deformacijos naudojant sijines ryšių sistemas viršutinėje arkos dalyje. Mažiausios deformacijos gautos naudojant užstandintą viršutinę skerspjūvio dalį su papildomais suvaržymais apatinėje dalyje ir išdėstant sijinius ryšius viduryje arkos skerspjūvio. Pastaruoju atveju gautos deformacijos palankios dėl mažesnio ryšinės sistemos konstrukcijų svorio. Pabrėžiama, kad $1 \text{ radianas} = 57.2957795^\circ$



7.7.3 pav. Deformacijos (mm) pagal SLS

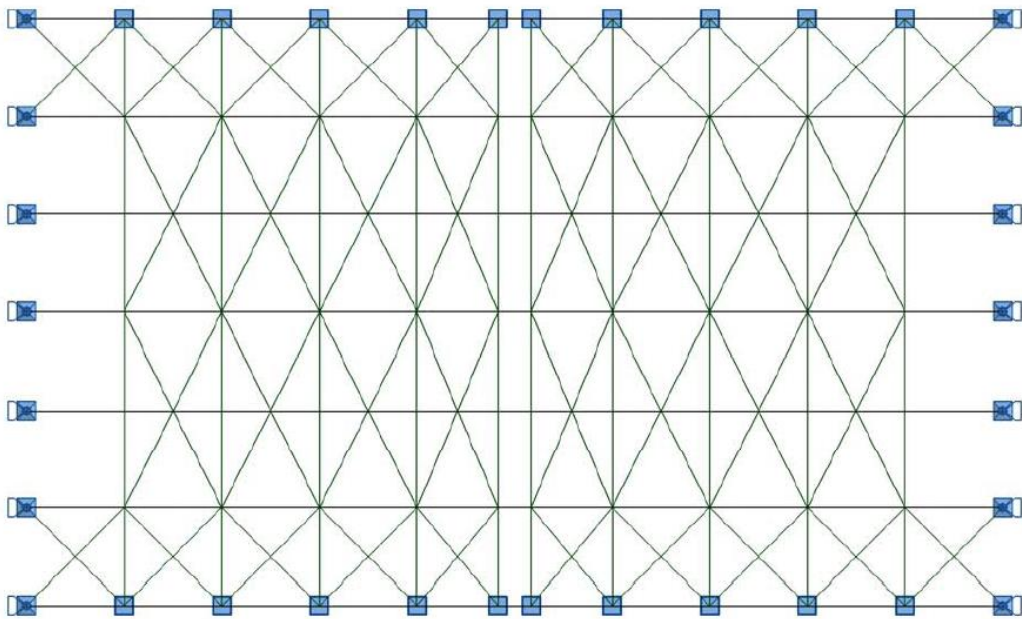
7.8 Alternatyvus ryšių panaudojimas siekiant sumažinti poslinkius

Visais nagrinėjamais atvejais klijuotos medienos arkoje veikiančios jėgos pasiskirsto vienodai, esant trijų šarnyrų sistemai, todėl klijuotos medienos arkoje atsirandantys lokalūs įlinkiai sukelia panašius visos konstrukcijos poslinkius:



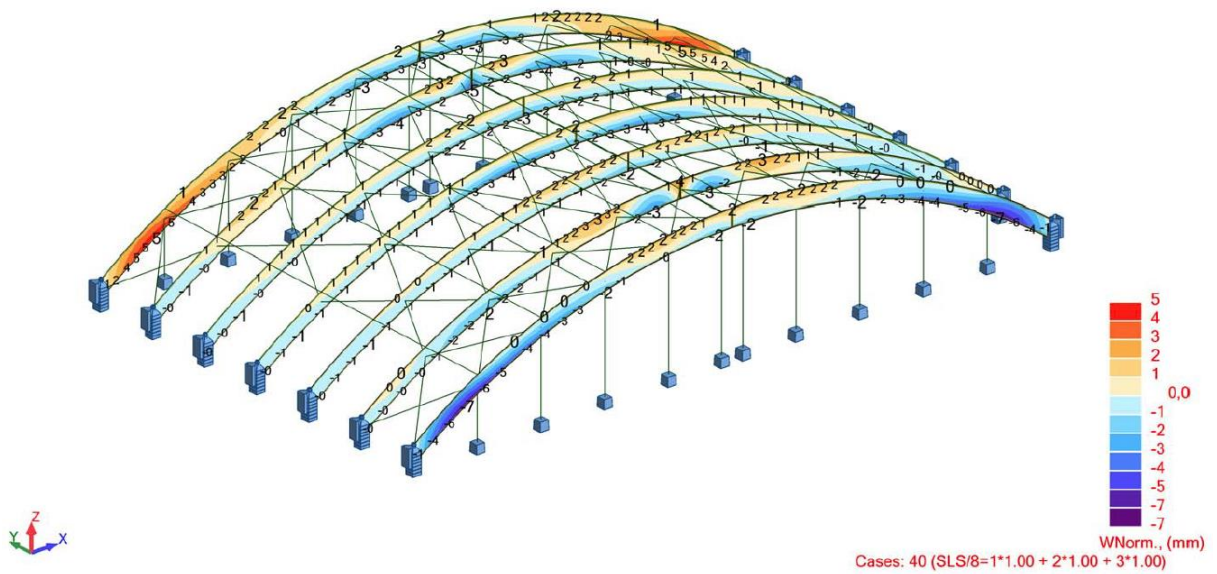
7.8.1 pav. Įlinkių schema nuo SLS

Alternatyvus būdas siekiant pagerinti klijuotos medienos arkos stabilumą – plieninių kryžminių horizontalių ryšių panaudojimas per visą konstrukcijos ilgį:



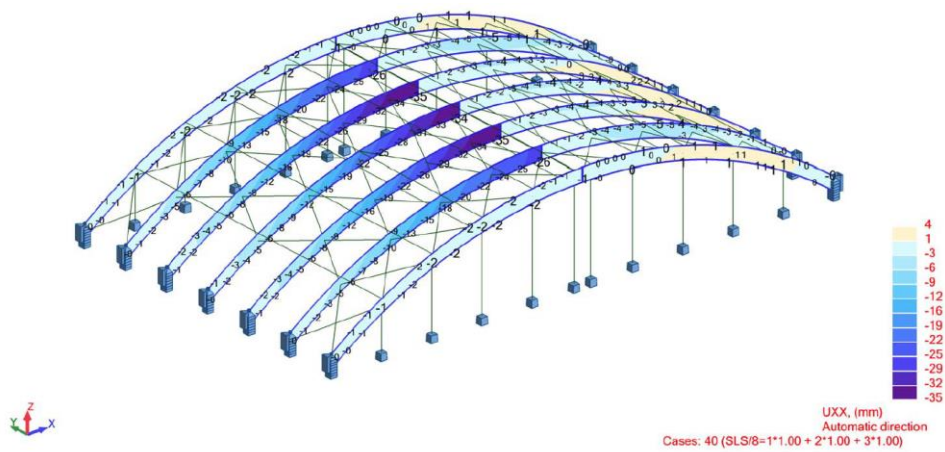
7.8.2 pav. Papildomų horizontalių kryžminių ryšių įvedimas

Sustandinus konstrukciją plieniniais pilnaviduriais apvalaus skerspjūvio strypais ar analogiškais konstruktyviais elementais, gauti įlinkiai iš plokštumos:



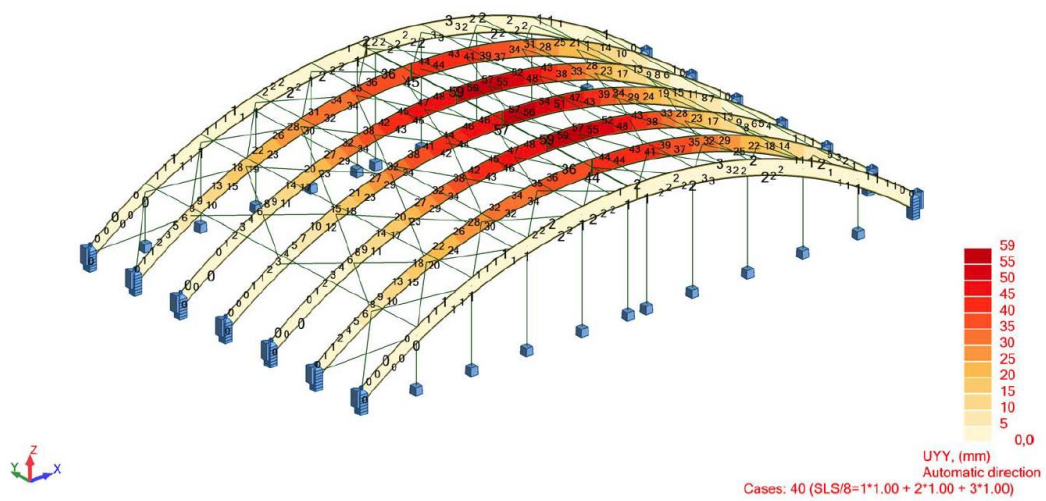
7.8.3 pav. Įlinkiai plokštumoje (mm)

Poslinkiai plokštumoje X kryptimi:



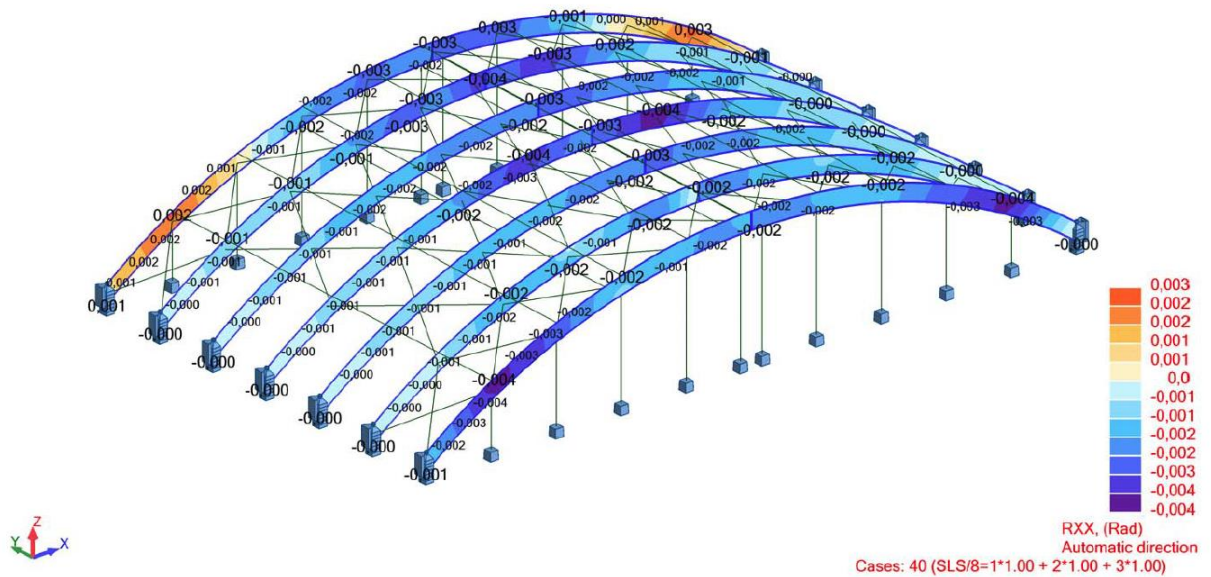
7.8.4 pav. Poslinkiai plokštumoje horizontalia kryptimi

Įlinkiai plokštumoje Y kryptimi:



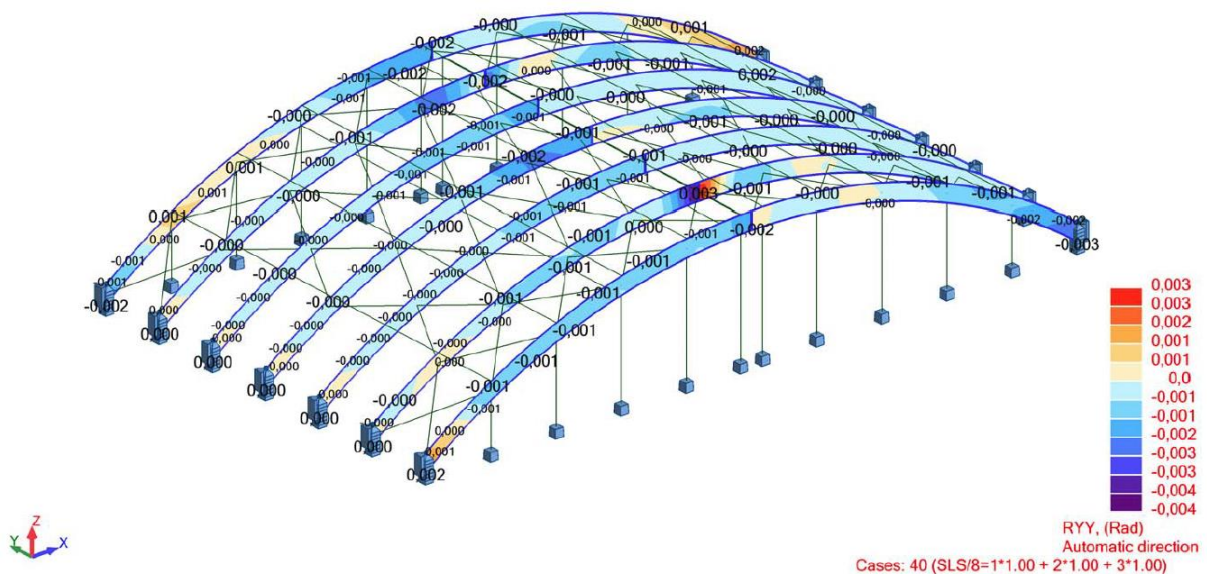
7.8.5 pav. Įlinkiai plokštumoje Y kryptimi

Susisukimai X kryptimi:



7.8.6 pav. Susisukimai R_{xx} (rad)

Susisukimai Y kryptimi:



7.8.7 pav. Susisukimai R_{yy} (rad)

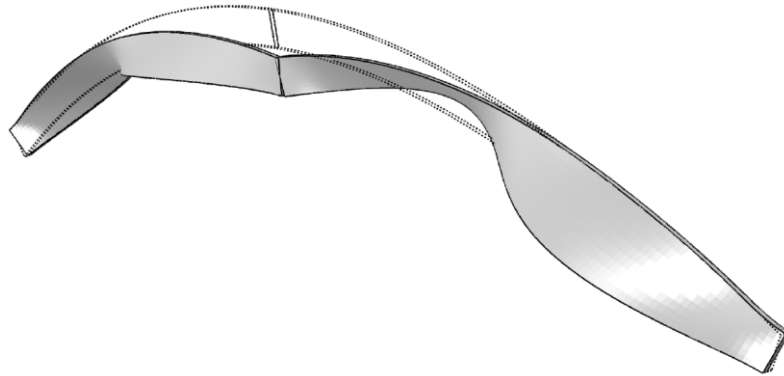
Įvedus papildomus kryžminius ryšius gautos deformacijos minimalios. Gautos reikšmės arkos skerspjūvyje - 7 mm, X kryptimi – 35 mm, Y kryptimi - 59 mm. Susisukimų reikšmės R_{xx} ir R_{yy} 0,001~ rad mažesnės lyginant su kitomis ryšių sistemomis.

7.9 Skirtingų ryšių sistemų analitinio modeliavimo išvados

Pagal Björn Andersson and Gustaf Larsson [13] mokslinėje disertacijoje pateiktus pasiūlymus siekiant išnagrinėti arkų pastovumą palygintos pagrindinės literatūroje ir

praktikoje sutinkamos ryšių sistemos. Palyginus skirtingas ryšių sistemas nuo nepalankiausių apkrovų derinių pagal saugos ir tinkamumo ribinį būvį, visos ryšių sistemos gali būti panaudojamos praktikoje. 7.7 skyriuje palyginus ryšių sistemų rezultatus, gauti įtempių S_{xy} rezultatai sutapo ir neviršijo leistinųjų tempimo – gniuždymo. Palyginus paviršinius įtempius X ir Y kryptimis, rezultatai skyrėsi ties ryšių vietomis, kur persiduodavo mazguose nuo visų konstrukcijų veikiančios ašinės jėgos į klijuotos medienos arką.

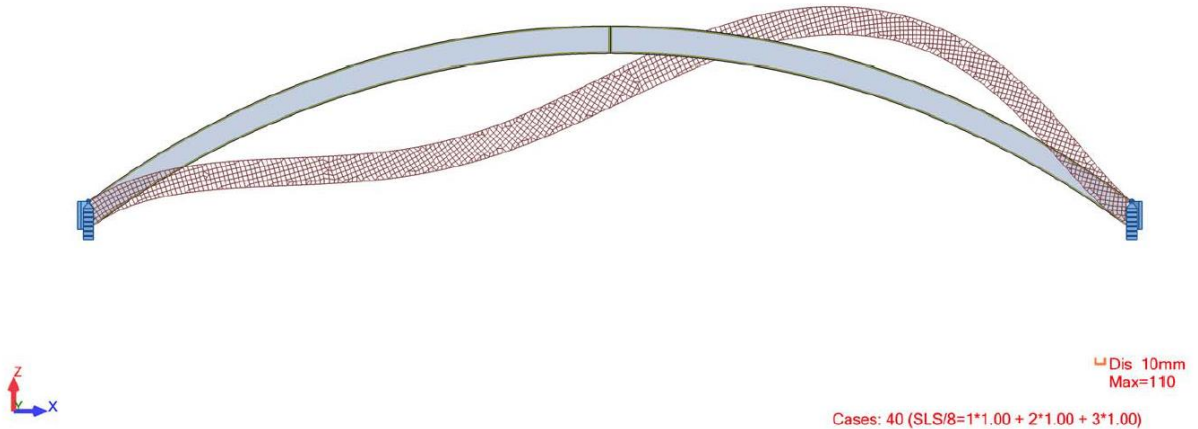
Suprojektavus skaičiavimo analitinį modelį su kiekviena ryšių sistema, gauti nepalankiausi susisukimo ir įlinkių atvejai, kai suvaržoma tik viršutinė arkos skerspjūvio dalis sijomis, t.y. gauti nepalankiausi įlinkiai ir susisukimai. Naudojant pastaruosius ryšius arkoje dėl kreivalinijinės formos atsiranda nenumatytos deformacijos, įtempių koncentracijos ties mazgais, konstrukcija tampa laužiama. Susidaro pavojus ryšio ir arkos mazgo stiprumui, kuri praradus grėstų absoliuti konstrukcijos griūtis.



7.9.1 pav. Trijų lankstų klijuotos medienos arkos įlinkiai ir susisukimas

Antruoju ryšiai išdėstomi viršutinėje arkos skerspjūvio dalyje. Arkos skerspjūvio apatinė dalis šiuo atveju tampa laisvesnė, atsiranda pavojingesnės susisukimo bei gaunamos didesnės deformacijų reikšmės. Trečiuoju bandymu išdėsčius papildomus ryšius apatinėje arkos skerspjūvio dalyje ties didžiausias deformacijas turinčiomis vietomis, konstrukcija stabilizuojasi, gauti mažesni susisukimai ir deformacijos. Palyginimui buvo pasirinktas ir sumodeliuotas ketvirtasis variantas kai vietoj klijuotos medienos sijų viršutinėje skerspjūvio dalyje su papildomais ryšiais apatinėje pasirinkti ryšiai - klijuotos medienos sijos, tvirtinamos klijuotos medienos arkos skerspjūvio viduryje. Gautas mažesnės susisukimo reikšmės ir deformacijos. Penktuoju atveju, viršutinė arkos skerspjūvio dalis užstandinama, priimant kad paklotas su ilginiais veikia kaip diafragma, ir sudedami ryšiai apatinėje skerspjūvio dalyje. Gauti geriausi įtempių ir deformacijų rezultatai. Šeštuoju atveju ryšių sistemoms naudojamos klijuotos medienos sijos, išdėstytos viršutinėje klijuotos medienos arkos juostoje su papildomais spyriais besiremiančiais į apatinę arkos skerspjūvio dalį.

Pavojingiausios bendrosios konstrukcijos deformacijos užfiksuotos naudojant šias įtvirtintas viduryje arkos skerspjūvio. Tai nulemia nesuvaržytas palyginti liaunas arkos skerspjūvis, ir veikiant nepalankiausiam deriniui deformuojasi kreivalininė arkos konstrukcija, sukelianti ne tik vertikalias ir horizontalias deformacijas bet ir susisukimą. Bendras arkos deformacinis darbas užfiksuotas poslinkių diagramoje:



7.9.2 pav. Trijų lankstų klijuotos medienos arkos deformacijos bendruoju atveju

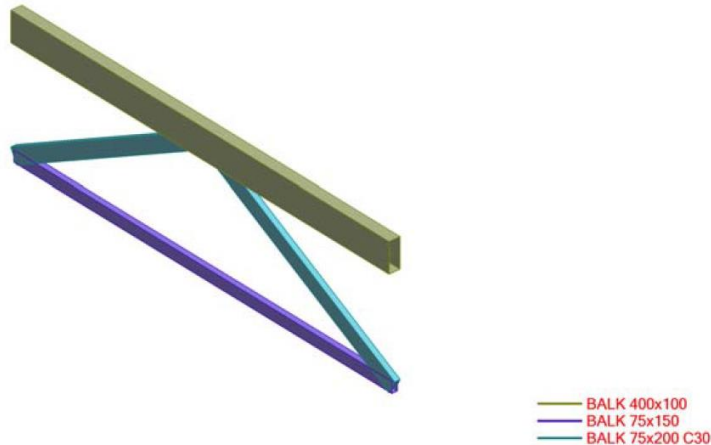
Naudojant ryšių sistemas išdėstytas elemento centre, norint užtikrinti klijuotos medienos arkos pastovumą iš plokštumos reikalingas sąlyginai aukštas klijuotos medienos sijų skerspjūvis. Tokiu būdu šios ryšių sistemos yra mažai išnaudojamos, nes storinant skerspjūvį jos tampa sunkios ir neekonomiškos, o dėl kreivalininės geometrijos ir susisukimų atsiranda įtempių koncentracijos kritinėse vietose. Visais atvejais klijuotos medienos arka deformavosi tokiu pačiu kontūru. Tiriant bendrą laikančiosios ir ryšių konstrukcijų elgseną, pasiūlytas stabilumą gerinantis ryšių sistemų panaudojimo sprendimas. Stebint konstrukcijų poslinkius klijuotos medienos arkai deformuojantis, įvedami papildomi kryžminiai horizontalūs ryšiai, jungiami šarnyriškai ryšių mazgų vietoje. Plieniniai strypai dėl plono skerspjūvio nesudaro didelės savojo svorio priekrovos, paskirsto ašines gniuždymo ir tempimo jėgas. Konstrukcijoje gautos mažiausios susisukimo ir poslinkių reikšmės. Arkos deformacijos iš plokštumos gautos minimalios, o didžiausias įlinkis plokštumoje – 45 mm. pagal nepalankiausią apkrovų derinį pagal tinkamumo ribinį būvį.

8. RYŠIŲ KONSTRUKCIJOS ELEMENTŲ PALYGINIMAS

8.1 Spyriinių ryšių konstrukcijos projektavimas

Naudojantis "ROBOT Structural analysis" programine įranga optimizuoti spyriinių ryšių skerspjūviai:

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)
1897 Medinė sija	BALK 400x100	GL28h	51.96	138.56	0.96	7 ULS/1=1*1.35 + 2*	0.00	(1+0.6)*1 + (1+0.6)*
1916 Medinė sija	BALK 75x200 C30	Timber C30	58.89	157.04	0.59	22 ULS/16=1*1.35 +	0.02	(1+0.6)*1 + (1+0.6)*
1917 Medinė sija	BALK 75x200 C30	Timber C30	58.89	157.04	0.11	22 ULS/16=1*1.35 +	0.00	(1+0.6)*1 + (1+0.6)*
2059 Medinė sija	BALK 75x150	GL28h	138.56	277.14	0.45	7 ULS/1=1*1.35 + 2*	0.00	(1+0.6)*1 + (1+0.6)*



8.1.1 pav. Spyriinių ryšių skaičiavimo modelis

Pagal susidariusias apkrovas nuo nepalankiausių derinių gauti sąlyginai dideli skerspjūviai. Viršutinei juostai reikalinga naudoti GL28h klijuotos medienos klasės, 400 x 150 mm skerspjūvio sija. Apatinei juostai suprojektuota GL28h klijuotos medienos klasės 75 x 150 mm skerspjūvio sija. Spyriams mediena parenkama konstruktyviai, kad tenkintų liaunumo sąlygas, t.y. atitinkamai 200 x 75 mm.

Žemiau pateikiama viršutinės juostos klijuotos medienos sijos skaičiavimo ataskaita:

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 1897 Medinė sija_1897

POINT: 3 COORDINATE: x = 0.50 L =

3.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 7 ULS/1=1*1.35 + 2*1.35 (1+2)*1.35

MATERIAL GL28h

gM = 1.25

f m,0,k = 28.00 MPa

f t,0,k = 22.30 MPa

f c,0,k = 28.00 MPa

f v,k = 3.50 MPa

f t,90,k = 0.50 MPa

f c,90,k = 2.50 MPa

E 0,moyen = 12600.00

MPa

E 0,05 = 10500.00 MPa

G moyen = 650.00 MPa

Service class: 1

Beta c = 0.10

**SECTION PARAMETERS: BALK 400x100**

ht=400 mm
 bf=150 mm Ay=40000 mm² Az=40000 mm² Ax=60000 mm²
 tw=75 mm Iy=800000000 mm⁴ Iz=112500000 mm⁴ Ix=343697261 mm⁴
 tf=75 mm Wy=4000000 mm³ Wz=1500000 mm³

STRESSES

Sig_{c,0,d} = N/Ax = 133.78/60000 = 2.23 MPa
 Sig_{m,y,d} = MY/Wy = 4.56/4000000 = 1.14 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{c,0,d} = 13.44 MPa
 f_{m,y,d} = 14.00 MPa
 f_{v,d} = 1.68 MPa

Tau_{z,d} = 1.5*0.51/60000 = 0.01 MPa
 Tau_{tory,d} = 0.00 MPa, Tau_{torz,d} = 0.01 MPa

Factors and additional parameters

kh = 1.10 kh_y = 1.04 kmod = 0.60 K_{sys} = 1.00 kcr = 0.67

**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:****BUCKLING PARAMETERS:**

About Y axis:

LY = 6.00 m Lambda Y = 51.96
 Lambda_{rel} Y = 0.85 ky = 0.89
 LFY = 6.00 m kcy = 0.87



About Z axis:

LZ = 6.00 m Lambda Z = 138.56
 Lambda_{rel} Z = 2.28 kz = 3.19
 LFZ = 6.00 m kcz = 0.18

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{c,0,d}/(k_{c,z}*f_{c,0,d}) + km*Sig_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 2.23/(0.18*13.44) + 0.70*1.14/14.00 = 0.96 < 1.00 (6.24)

(Tau_{y,d}/kcr+Tau_{tory,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.00 < 1.00 (Tau_{z,d}/kcr+Tau_{torz,d}/kshape)/f_{v,d} = 0.01 < 1.00
 (6.13-4)

LIMIT DISPLACEMENTS**Deflections (LOCAL SYSTEM):**

u_{fin,y} = 0 mm < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 30 mm

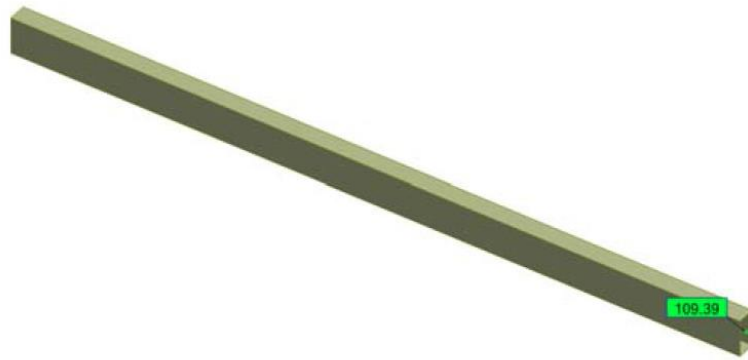
Verified

Governing load case: (1+0.6)*1 + (1+0.6)*2 + (1+0*0.6)*4 + (0.6+0*0.6)*5

**Displacements (GLOBAL SYSTEM):****Section OK !!!****8.2 Sijinių ryšių konstrukcijos projektavimas**

Palyginimui pasirinktas atvejis, kai klijuotos medienos sijos ryšiai dėstomi arkos skerspjuvio viduryje. Patikrinamas skerspjuvis pagal nepalankiausią apkrovų derinį:

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case	Ratio(uy)	Case (uy)	Ratio(uz)	Case (uz)	Case (vy)
1897 Medinė sija	Balk 150x300	GL28h	69.28	138.56	0.80	7 ULS/1=1*1.35+2*1.35	0.00	(1+0.6)*1 + (1+0.6)*2	0.08	(1+0.6)*1 + (1+0.6)*2 + (1+0*0.6)*4	-



— Balk 150x300
 ↓ Fx+c Fx-t 500kN
 Max=109,39
 Min=109,39

Cases: 21 (ULS/15=1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.30)

8.2.1 pav. Sijinio ryšio skaičiavimo modelis

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 1897 Medinė sija_1897
 3.00 m

POINT: 2 **COORDINATE:** x = 0.50 L =

LOADS:

Governing Load Case: 7 ULS/1=1*1.35 + 2*1.35 (1+2)*1.35

MATERIAL GL28h

gM = 1.25

f m,0,k = 28.00 MPa

f t,0,k = 22.30 MPa

f c,0,k = 28.00 MPa

f v,k = 3.50 MPa

f t,90,k = 0.50 MPa

f c,90,k = 2.50 MPa

E 0,moyen = 12600.00

MPa

E 0,05 = 10500.00 MPa

G moyen = 650.00 MPa

Service class: 1

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: Balk 150x300

ht=300 mm

bf=150 mm

tw=75 mm

tf=75 mm

Ay=30000 mm²

Iy=337500000 mm⁴

Wy=2250000 mm³

Az=30000 mm²

Iz=843750000 mm⁴

Wz=1125000 mm³

Ax=45000 mm²

Ix=231543272 mm⁴

STRESSES

Sig_c,0,d = N/Ax = 83.16/45000 = 1.85 MPa

Sig_m,y,d = MY/Wy = 2.28/2250000 = 1.01 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f c,0,d = 13.44 MPa

f m,y,d = 14.40 MPa

Factors and additional parameters

kh = 1.10

kh_y = 1.07

kmod = 0.60

Ksys = 1.00



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:

LY = 6.00 m

Lambda_rel Y = 1.14

Lambda Y = 69.28

ky = 1.19



About Z axis:

LZ = 6.00 m

Lambda_rel Z = 2.28

Lambda Z = 138.56

kz = 3.19

LFY = 6.00 m

kcy = 0.65

LFZ = 6.00 m

kcz = 0.18

VERIFICATION FORMULAS:

$$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_{c,z} * f_{c,0,d}) + k_m * \text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 1.85/(0.18 * 13.44) + 0.70 * 1.01/14.40 = 0.80 < 1.00 \quad (6.24)$$

LIMIT DISPLACEMENTS**Deflections (LOCAL SYSTEM):**

$$u_{fin,y} = 0 \text{ mm} < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 30 \text{ mm}$$

Verified

$$\text{Governing load case: } (1+0.6)*1 + (1+0.6)*2 + (1+0*0.6)*4$$

$$u_{fin,z} = 2 \text{ mm} < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 30 \text{ mm}$$

Verified

$$\text{Governing load case: } (1+0.6)*1 + (1+0.6)*2 + (1+0*0.6)*4$$

**Displacements (GLOBAL SYSTEM):****Section OK !!!****8.3 Suprojektuojų ryšių konstrukcijų palyginimo rezultatai**

Įvertinus bendrą ryšių sistemų įtaką arkos deformacijoms ir įtempių pasiskirstymui buvo pasirinkti du skirtingi tipai – spyrinės ir sijinės sistemos. Pagal nepalankiausias apkrovų derinius, pasirinkti didžiausių įrašų veikiami elementai ir suprojektuoti pagal EN naudojant „ROBOT structural analysis“ programinį paketą. Dėl spyrinių ryšių sistemų panaudojimo, susidaro didesnės įrašos (maksimali $N = 133,78 \text{ kN}$), tačiau esminė sąlyga – elemento pastovumas. Dėl to įvertinus elemento liaunį turi būti panaudoti didesnio skerspjūvio elementai. Viršutinė spyrinės sistemos juosta - G128h 400 x 100 mm klijuotos medienos sija, 150x75 G128h klijuotos medienos sija, spyriai – 250 x 100 C30 klasės spygliuočių pjautinės medienos sijos. Palyginimui pasirinkta sijų ryšių sistema, sijas tvirtinant klijuotos medienos arkos skerspjūvio viduryje - gautas ekonomiškėnis variantas. Dėl paprastesnės skaičiuojamosios schemos bei mažiau užstandintos pagrindinės konstrukcijos, t.y. leidžiant didesnėms deformacijoms, nepalankiausio apkrovų derinio atveju gauta mažesnė įraša kritinėje vietoje (maksimali $N = 109,39 \text{ kN}$). Pagal apkrovą suprojektuota G128h klijuotos medienos 300 x 150 mm skerspjūvio sija. Palyginus suprojektuotas ryšių konstrukcijas, ekonomiškiau yra naudoti sijinius ryšius. Dėl pakankamai didelio atstumo tarp arkų, didelę įtaką ryšių konstrukcijoms turi liaunumo sąlygos. Naudoti medines sijinius ryšius yra efektyviau, arkos konstrukcija mažiau užstandinama, gaunamos mažesnės įrašos, dėl kurių suprojektuotas skerspjūvis yra ekonomiškėnis.

9. KONSTRUKCIJOS ĮLINKIŲ IŠ PLOKŠTUMOS PATIKRINIMAS PAGAL EN

Arkos konstrukcijos pavienio ryšio sistemos spyruoklinis standis turi būti lygus:

$$C = k_s \cdot \frac{N_d}{a} = 4 \cdot \frac{1279,37}{6739} = 0,76 \quad (9.1)$$

čia:

k_s – pataisos koeficientas (rekomenduojama – 4);

N_d – vidutinė skaičiuotinė gniuždomoji jėga elemente (1279,37 kN);

a – tarpatramio tarp išdėstytų ryšių ilgis (max - 6739 mm);



9.1 pav. Arkos konstrukcijos maksimalūs įlinkiai horizontalioje plokštumoje

Skaičiuotinė stabilizuojanti jėga F_d ties kiekviena atrama:

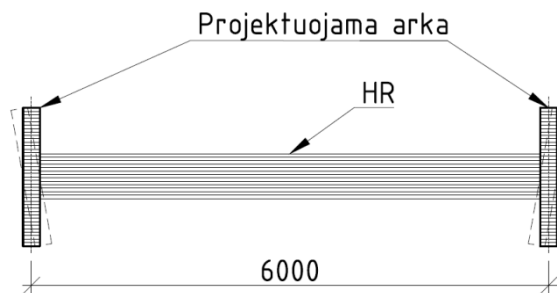
$$\begin{cases} \frac{N_d}{k_{f,1}} = \frac{1279,37}{50} = 25,59 \\ \frac{N_d}{k_{f,2}} = \frac{1279,37}{80} = 16,00 \end{cases} \quad (9.2)$$

$$q_d = k_l \frac{nN_d}{k_{f,3}l} = 0,68 \frac{5 \cdot 1279,37}{30 \cdot 32,53} = 4,46 \text{ kN/m} \quad (9.3)$$

$$k_l = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{\frac{15}{l}}} \right\} = \left\{ \sqrt{\frac{15}{32,53}} \right\} = 0,68 \quad (9.4)$$

7.2 Klijuotos medienos sijų ryšiai

Antruoju atveju baigtinių elementų modelyje klijuotos medienos spyrinės ryšių sistemos keičiamos į klijuotos medienos ryšius, t.y. pavienes sijas, kai projektuojamos klijuotos medienos sijos kaip horizontalieji ryšiai statmenoje arkos plokštumoje. Ryšiai išdėstomi per vidurį arkos skerspjūvio aukščio atlaisvinant viršutinę ir apatinę arkos dalis.



7.2.1 pav. HR ryšių sistemos schema tarp arkų

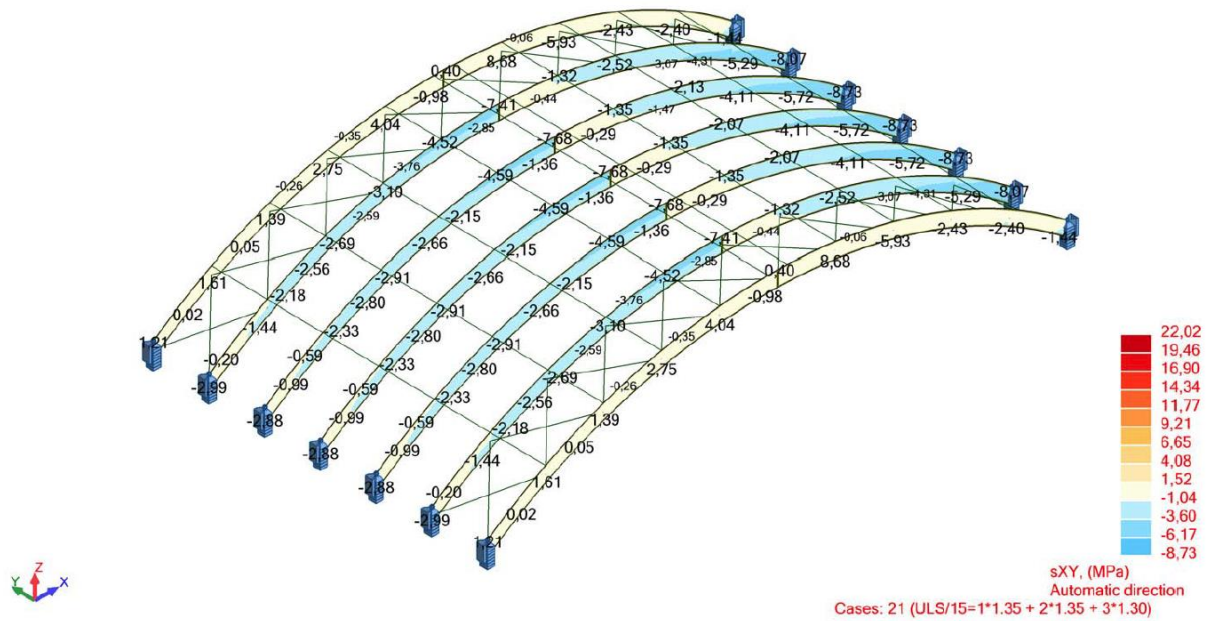
Apie pastarųjų ryšių sistemas plačiau aprašė Björn Andersson and Gustaf Larsson [13].

Tiriamas skaičiuotinis modelis nuo didžiausius įtempius turinčio derinio:

$$21 : \text{ULS}/15 = 1 * 1.35 + 2 * 1.35 + 3 * 1.30$$

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} klijuotos medienos arkoje pateikti P.3.2 priede.

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xy} klijuotos medienos arkoje:

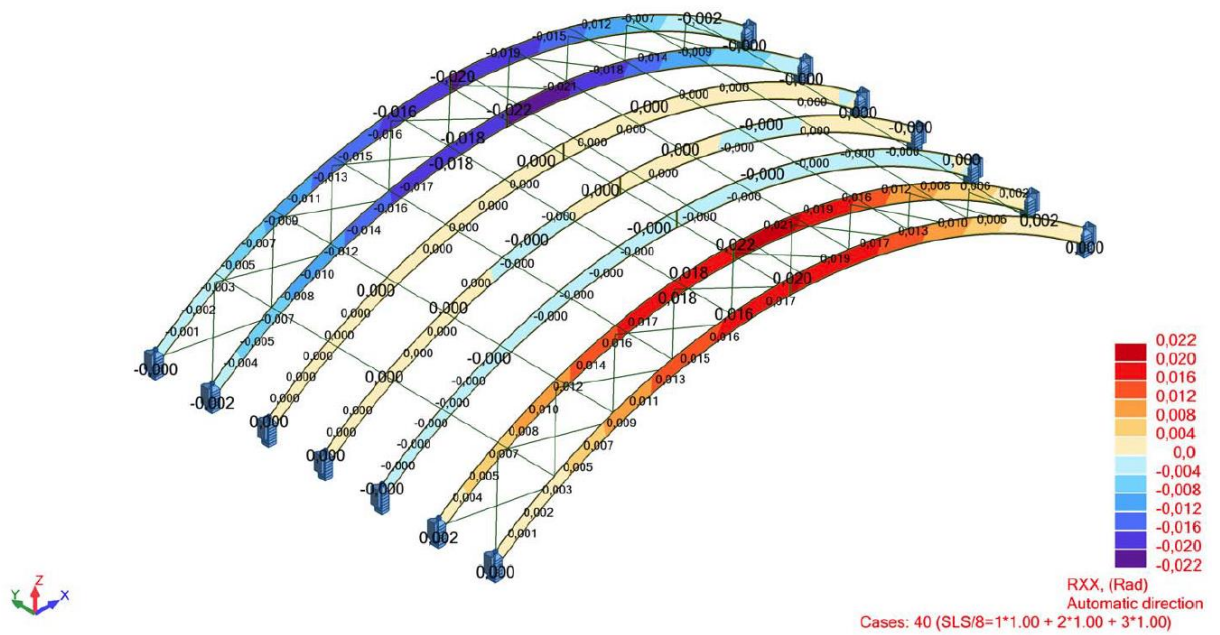


7.2.2 pav. Įtempiai S_{xy} (Mpa)

Pagal gautus rezultatus, matomas įtempių suintensyvėjimas paviršiumi abejomis kryptimi. Maksimali gauta reikšmė $S_{xy} = -7,68 \text{ MPa}$, maksimalių klijuotos medienos tempimo įtempių neviršija $f_{t,0,g,d}$.

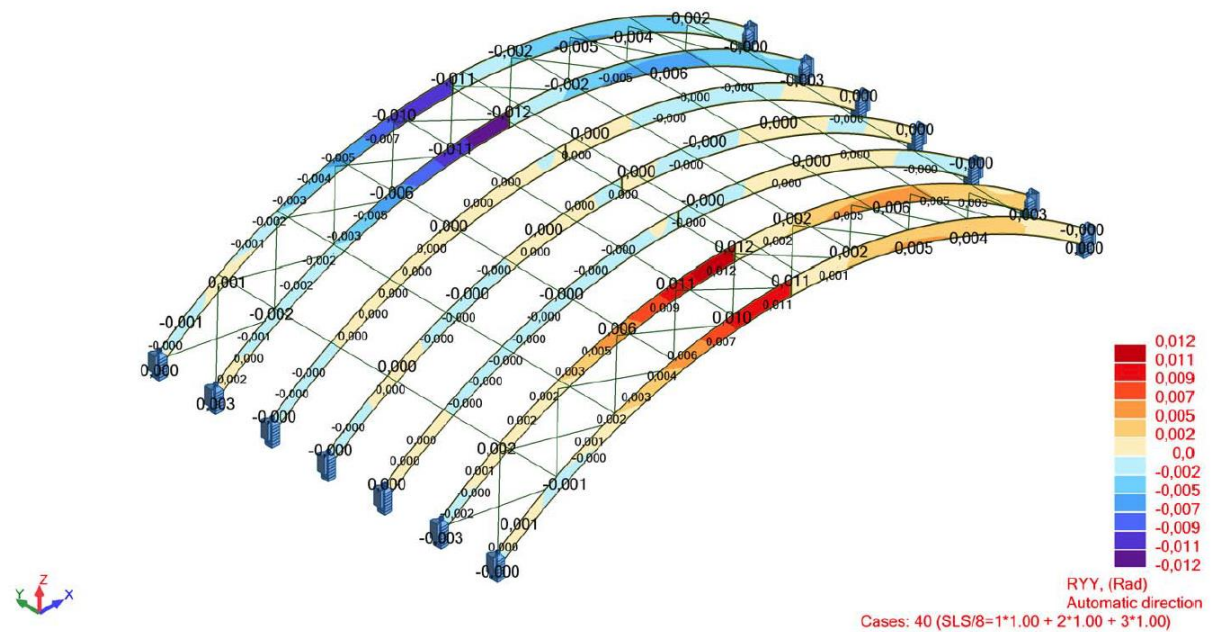
Didesni įtempiai pastebimi paviršiuose, dėl atlaisvinto klijuotos medienos skerspjūvio iš plokštumos.

Susisukimai (rad) xx ašyje:



7.2.3 pav. Susisukimai R_{xx} (rad)

Susisukimai (rad) yy ašyje:

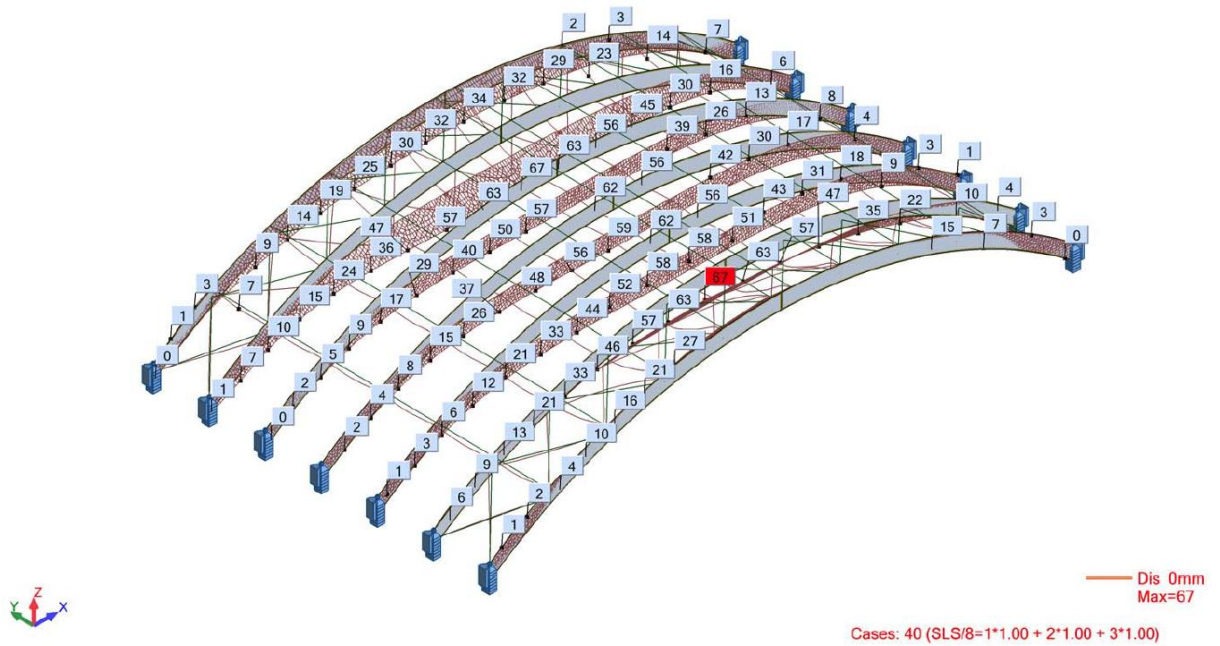


7.2.4 pav. Susisukimai R_{yy} (rad)

Maksimalūs susisukimai $R_{xx}=0,022$ rad, $R_{yy}=0,012$ rad.

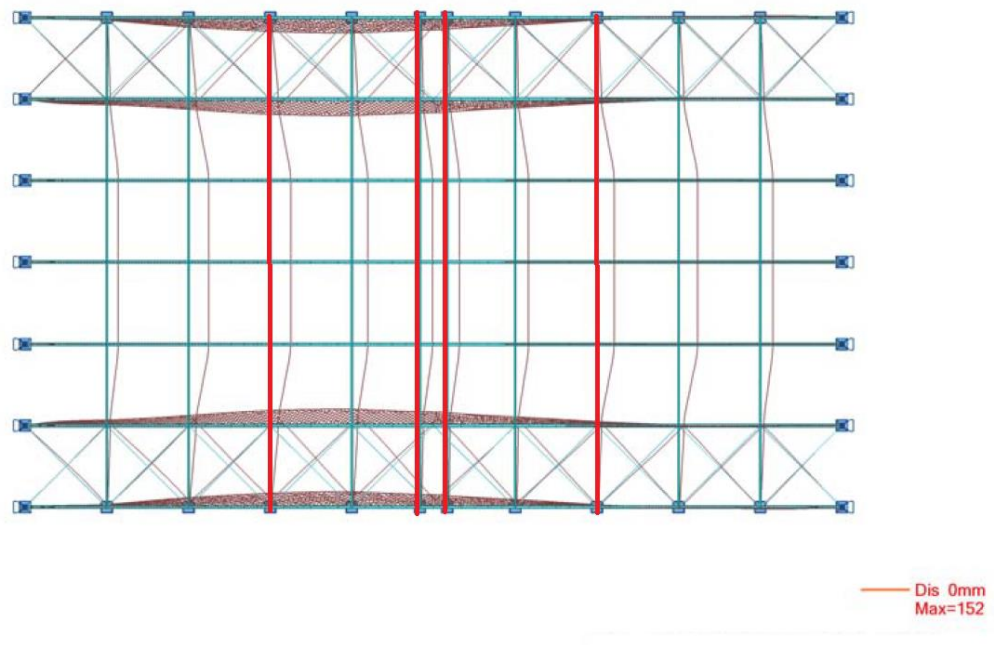
Dėl atlaisvinto klijuotos medienos arkos pastebimi ir gerokai didesni susisukimai lyginant su pirmuoju atveju.

Deformacijos (mm):



7.2.5 pav. Deformacijos (mm)

Naudojant klijuotos medienos sijas gautas maksimalus įlinkis – 67 mm. Pastebimi didesni susisukimai ir paviršiniai įtempiai abejomis kryptimis. Nagrinėjamu atveju pastebimos vietos, kuriose papildomai reikalinga įvesti ryšius apatinėje klijuotos medienos arkos skerspjūvio dalyje:



7.2.6 pav. Klijuotos medienos arkos deformacijos iš plokštumos

10. TEORINIS KLUPUMO SUSISUKANT IŠ PLOKŠTUMOS SKAIČIAVIMAS

Ryšiais suvaržytoje klijuotos medienos arkoje klupumas pereina į susisukimą iš plokštumos.

Inercijos momentas:

$$I = I_y = I_z \approx \frac{bh^3}{12} + \frac{hb^3}{12} = \frac{0,195 \cdot (2 \cdot 1,6)^3}{12} + \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 0,195^3}{12} = 0,53 \text{ m}^4 \quad (10.1)$$

Poliariusis inercijos momentas:

$$I_0 = I_y + I_z = 2I = 1,06 \text{ m}^4 \quad (10.2)$$

Sukimo konstantos momentas:

$$J = \sum \frac{bt^3}{3} = 4 \frac{1,6 \cdot 0,195}{3} = 0,016 \text{ m}^4 \quad (10.3)$$

Galutinis vidutinis tamprumo modulis pagal SS-EN 1995-1-1 2.3.2.2:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \varphi_2 k_{\text{def}})} = \frac{12,60}{(1 + 1 \cdot 0,80)} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ MPa} \quad (10.4)$$

$\varphi_2 - 1$, dėl nuolatinio poveikio

k_{def} – veikiant vidutinės trukmės poveikiui

Galutinis vidutinis šlyties modulis pagal SS-EN 1995-1-1 2.3.2.2:

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + \varphi_2 k_{\text{def}})} = \frac{0,78}{(1 + 1 \cdot 0,80)} = 0,43 \text{ MPa} \quad (10.5)$$

Kritiniai įtempiai sukimo klupumui:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Rd,cruci form}} &= \frac{1}{I_0} \left(E_{\text{mean,fin}} I_w \frac{\pi^2}{L^2} + G_{\text{mean,fin}} J \right) \\ &= \frac{1}{1,06} \left(7 \cdot 10^{-3} \cdot 0 \frac{3,14^2}{60^2} + 0,43 \cdot 0,16 \right) = 6,49 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Esant $\sigma_{\text{Rd,cruci form}} = 6,49 \text{ MPa}$ arkoje atsiranda susisukimo reikšmės.

11. STABILIZUOJANČIŲ RYŠIŲ PROJEKTAVIMAS

Stabilizuojantiems ryšiams gali būti panaudoti šarnyriškai įtvirtinti lynai. Lyno projektavimui turi būti patikrinta konstrukcija nuo laikinųjų apkrovų vertinant tik ašines įrąžas. Kadangi lynai nėra atramino kontūro templės, darbo sąlygų koeficientas: $\gamma_c = 1$.

Skaičiuotinis plieno tempiamasis stipris lynams nustatomas pagal formulę:

$$f_{dh,b} = 0,63 f_u = 0,63 \cdot 470 = 296,1 \text{ MPa} \quad (9.1)$$

,čia f_u – charakteristinis vielos stipris pagal stiprumo ribą [[5] 6.5 lentelė]

Prenkamas lynas $\emptyset 55$, kur $A_{w,net} = 2375 \text{ mm}^2 =$

Skaičiuotinis vieno lyno atsparis (nutraukimo jėga):

$$F_{b,t,Rd} = f_{dh,w} \cdot A_{w,net} = 296,1 \cdot 2375 = 703238 \text{ N} = 703,24 \text{ kN} \quad (\text{P5.2})$$

,čia $A_{b,net}$ – lyno grynojo skerspjūvio plotas

Plieninio lyno maksimali įrąža tempimui apskaičiuojama lyno visiško nutraukimo jėgą, nustatytą pagal plieninių lynų standartus, dalijant iš patikimumo koeficiento $\gamma_M = 1,6$:

$$F_{max} = \frac{F_{b,t,Rd}}{\gamma_M} = \frac{703,24}{1,6} = 439,53$$

Maksimali tempimo įrašta stabilizuojančiuose ryšiuose $N_t = 390 \text{ kN}$.

$$\frac{N_t}{F_{max}} = \frac{390}{439,53} = 0,89 < 1$$

12. PASIŪLYMAI TOLIMESNIEMS TYRIMAMS

Atlikus tiriamąjį darbą nustatyta, kad medinių konstrukcijų projektavimas naudojant EN tiesių elementų skaičiavimą nėra tinkamas analizuojant lenktus elementus, o šiuo atveju trijų šarnyrų arkinę konstrukciją. Lenktiems elementams tinkamesnė analizė – baigtinių elementų modelis (FEM – finite element model). Atlikus variantinį ryšių sistemų palyginimą nutarta, kad arkinėms konstrukcijoms reikalinga ne tik viršutinės, bet taip pat ir apatinės dalies suvaržymai iš plokštumos. Siekiant tiksliau nustatyti klijuotos medienos arkos elgseną iš plokštumos, reikalinga atlikti netiesinę analizę. Šiuo atveju atlikta tiesinė analizė yra pakankama tik pirminiam projektavimo etapui.

Šiame tiriamajame darbe nėra detalizuoti ryšių ir arkų jungimo mazgai ir įtempių koncentracijos, atsirandančios juose. Detalesniam tyrimui reikia atlikti mazgų analizę.

Lenkiamiems bei ekscentriškai gniuždomiems didesnio skerspjūvio elementams būtina koreguoti klijuotosios medienos stiprį dėl kreivalinijinės normalinių įtempių epiūros, kuri atsiranda dėl tamprumo modulių tempiant ir gniuždant dydžių skirtumo bei nevienodų plastinių savybių. Daugumoje nurodytų skaičiavimų metodikų ir projektavimo normų pateikiama tiesialinijinė normalinių įtempių epiūra, todėl įtempių nuokrypiai didėja dėl didesnių lenkimo įtempių ir skerspjūvio aukščio. Skaičiavimo metodikose tiriant pastovumą nėra įvertinamas elemento skerspjūvio susisukimas. Šiame darbe taip pat nėra aptariama drėgmės įtaka arkos pastovumo darbui.

Klijuotos medienos medžiagos realios savybės skiriasi nuo aprašytų modelyje, todėl reikalingi realūs arkos elgsenos pastovumo bandymai, naudojant skirtingus bandinius ir suvaržymo atvejus.

Šiame darbe nagrinėjama pagal rekomendacijas suprojektuotos geometrijos klijuotos medienos arka. Rekomenduojama tolimesniems tyrimams naudoti variantinį skirtingų pakylų ar išlinkio arkines konstrukcijas ir įvertinti jų įtaką nagrinėjant pastovumą.

13. IŠVADOS

- 1) 60 m tarpatramiui suprojektuota klijuotos medienos Gl28h stiprumo 195x1600 mm skerspjūvio arka.
- 2) Atlikus 60 metrų ilgio arkos su 10 metrų pakyla erdvinę analizę nustatyta, kad ryšinė sistema naudojant profiliuotos skardos paklotą su papildomais suvaržymais apatinėje arkos skerspjūvio dalyje yra racionalesnė už pavienes sijines ir spyrines ryšių sistemas;
- 3) Palyginus 6 skirtingas ryšių sistemas nustatyta, kad arka daugiausiai deformuojasi nenaudojant papildomų ryšių apatinėje skerspjūvio dalyje, o mažiausios deformacijos gautos naudojant sijinius ryšius su papildomais apatinės dalies suvaržymais ir viršutinės dalies diafragma.
- 4) Palyginus skirtingų ryšių sistemų įtempius nustatyta, kad mažiausios įtempių reikšmės gautos suvaržant klijuotos medienos arką iš plokštumos profiliuotos skardos lakštais viršutinėje juostoje ir sijų ryšiais apatinėje juostoje.
- 5) Atlikus erdvinę analizę didžiausios susisukimų reikšmės gautos naudojant klijuotos medienos sijų ryšius, išdėstytus viršutinėje arkos skerspjūvio dalyje - $R_{xx}=0,022$ rad ($1,26^\circ$), $R_{yy}=0,012$ rad ($0,69^\circ$).
- 6) Mažiausios deformacijos gautos naudojant naudojant profiliuotos skardos paklotą su papildomais suvaržymais apatinėje arkos skerspjūvio dalyje – 52 mm.
- 7) Didžiausios deformacijos gautos naudojant klijuotos medienos sijų ryšius, išdėstytus viršutinėje arkos skerspjūvio dalyje – 67 mm.
- 8) Įvestas skaičiavimo stiprumo pataisymo koeficientas dėl skerspjūvio aukščio.
- 9) Apskaičiuotas ir suprojektuotas kraigo kaištinis mazgas.
- 10) Arkos pamato šarnyrinis mazgas jungiamas 4 vnt. M30 8.8 A klasės inkariniais varžtais.
- 11) Įvedus papildomus kryžminius ryšius gautos mažesnės deformacijos - 7 mm, X kryptimi – 35 mm, o susisukimų reikšmės R_{xx} ir R_{yy} 0,001~ rad mažesnės.

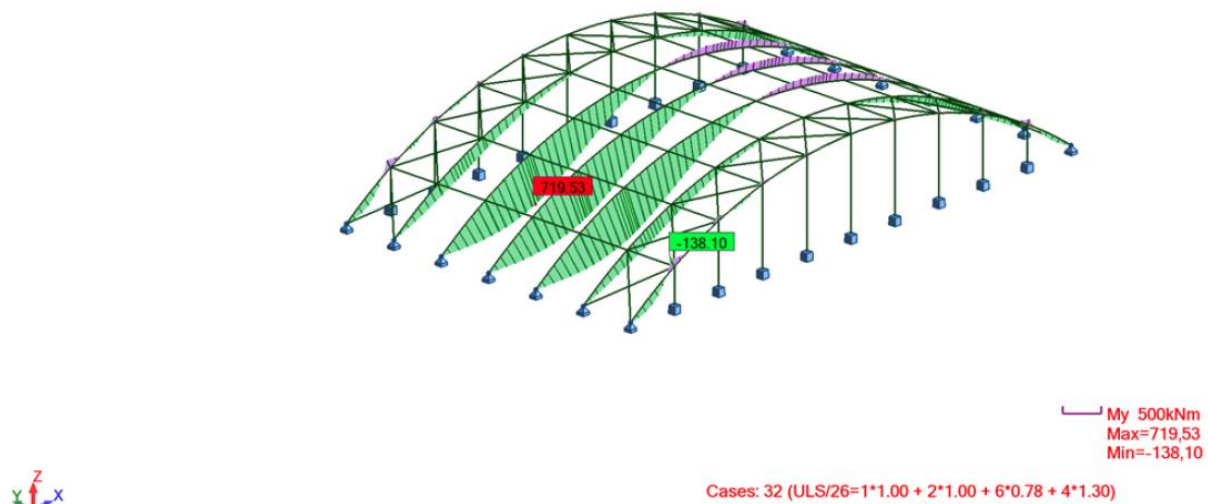
14. LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. V. Ražaitis „Pastatų konstravimo pagrindai“ (2004);
2. Olle Carling. “Limtra Handbok. Print & Media Center i Sundsvall AB, 2nd edition” (2003);
3. Roberto Crocetti ir Annika M Artensson „Design of timber structures“ (2011);
4. Audrey Farreyre Jean-bernard Journot „Timber trussed arch for long span“ (2005);
5. STR 2.05.07:2005 Statybos techninis reglamentas. Medinių konstrukcijų projektavimas. 2005;
6. LST EN 1995-1-1:2005 Eurokodas 5. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės.
7. LST EN 1992-1-4:2006 Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės;
8. LST EN 1991-1-3:2004 Eurokodas 1. Poveikiai konstrukcijoms. 1-3 dalis. Bendrieji poveikiai. Sniego apkrovos;
9. LST EN 1990:2002 Eurokodas 0. Konstrukcijų projektavimo pagrindai;
10. Marčiukaitis G., Valivonis J., Statybinės konstrukcijos ir jų projektavimo pagal euronormas pagrindai, Vadovėlis, Vilnius: Technika, 2010, 392p.;
11. Paulauskas J., Plieninių konstrukcijų pagrindai, Vilnius: Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla, 1955, 302p.;
12. Marčiukaitis G., Statybinės medžiagos ir konstrukcijos. Paskaitų konspektas, Vilnius;
13. Björn Andersson and Gustaf Larsson „Verification of buckling Analysis for glulam arches“ (2014);
14. Charles King ir David Brown „Design of curved steel“ (2001);
15. Narotama universiteto mokslinė publikacija „The design and construction of arches“(2006);
16. Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc. Presentacija „Long-span structures“ (2008);
17. Queen’s university Belfast tyrimas „Optimal design of long-span steel portal frames using fabricated beams“ (2005);
18. British standards design “Design of curved steel“;
19. Arcelor mittal Luxembourg, „Steel building in europe“;

20. The Gheorghe Asachi Technical University prezentacija „Arches of steel“;
21. Rimantas Čechanavičius „Šiuolaikinių medinių klijuotų arkų stiprumo apskaičiavimo ypatumai“ (2010);
22. Šveicarijos medinių konstrukcijų normos SIA 164, 1981/92;
23. Rusijos standartai SNIP II-25-80, 1982;
24. Prieiga per internetą: www.juresmedis.lt [Žiūrėta 2017-05-18]
25. Prieiga per internetą: www.guardian-europe.com [Žiūrėta 2017-05-10]
26. Kompiuterinė programa „ROBOT structural analysis“
27. Kompiuterinė programa „Autodesk AUTOCAD“

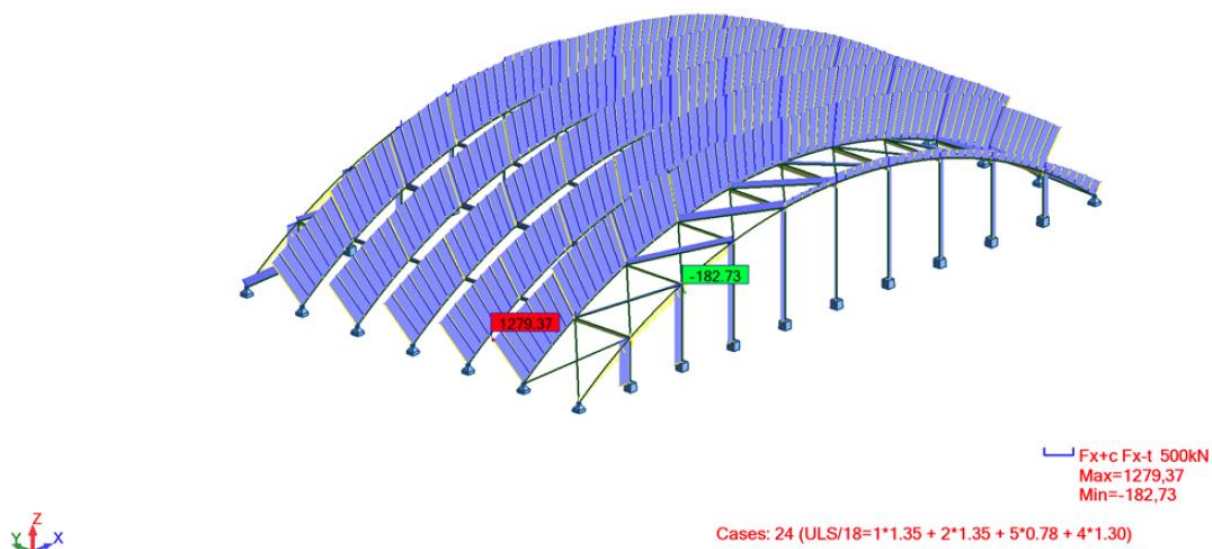
15. PRIEDAI

View - MY; Cases: 32 (ULS/26=1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.78 + 4*1.30)



P1.1 pav. Momentų jėgų diagrama pagal nepalankiausią derinį

View - FX; Cases: 24 (ULS/18=1*1.35 + 2*1.35 + 5*0.78 + 4*1.30)



P1.2 pav. Ašinių jėgų diagrama pagal nepalankiausią derinį

P.2.1 Lentelė. Inkarinių varžtų specifikacija pagal EN1993-1-8

Diameter of bolt:

HM30

Class of bolt:

8.8

Output:

Bolt: HM30

Class of bolt: 8.8

Diameter of hole: 33 mm

Partial safety factor for joint:

$\gamma_{M2} = 1,25$

The gross cross-section area of bolt:

$A = 706,9 \text{ sq.mm}$

The tensile stress area of the bolt:

$A_s = 561,0 \text{ sq.mm}$

Nominal value of the yield strength(table 3.1

EN1993-1-8):

$F_{yb} = 640,0 \text{ MPA}$

Nominal value of the ultimate tensile strength(table

3.1 EN1993-1-8):

$F_{ub} = 800,0 \text{ MPA}$

Shear resistance per shear plane(table 3.4

EN1993-1-8):

$F_{v,Rd} = 215,4 \text{ kN}$

Tension resistance(table 3.4 EN1993-1-8):

$F_{t,Rd} = 323,1 \text{ kN}$

Minimal spacing, end and edge distances(table 3.3

EN1993-1-8):

End distance $e_1 = 39,6 \text{ mm}$

Edge distance $e_2 = 39,6 \text{ mm}$

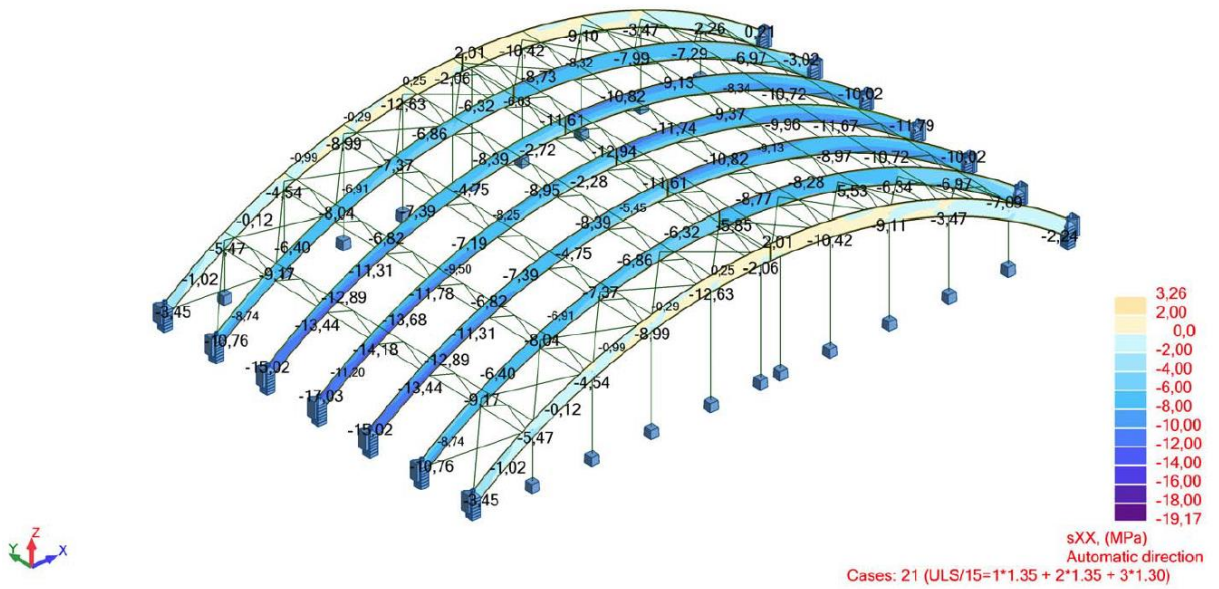
Distance e_3 in slotted holes = 49,5 mm

Distance e_4 in slotted holes = 49,5 mm

Spacing $p_1 = 72,6 \text{ mm}$

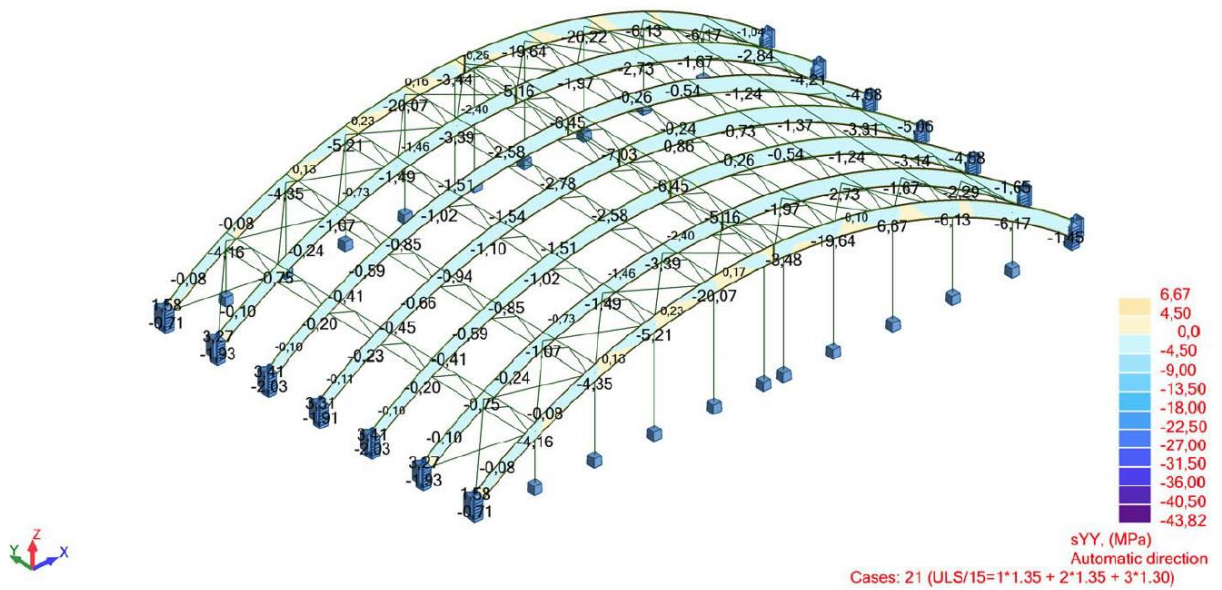
Spacing $p_2 = 79,2 \text{ mm}$

P.3.1. Spyrinės ryšių sistemos maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} klijuotos medienos arkoje



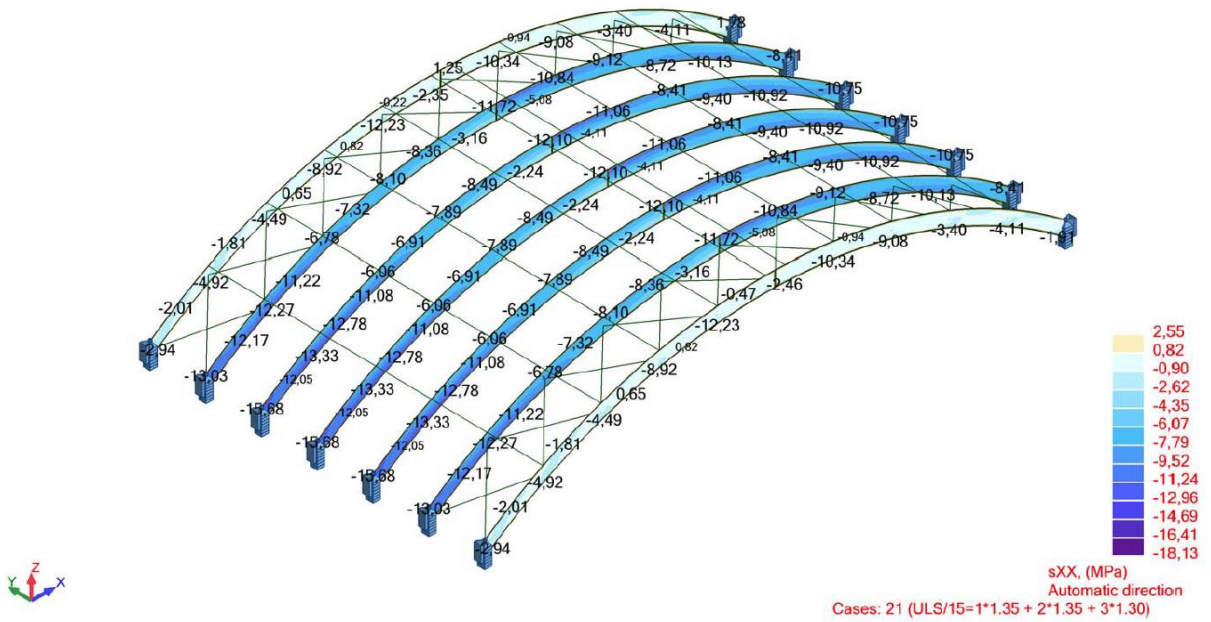
P.3.1.1 pav. Įtempiai S_{xx} (Mpa)

Gauti maksimalūs įtempiai S_{yy} klijuotos medienos arkoje:



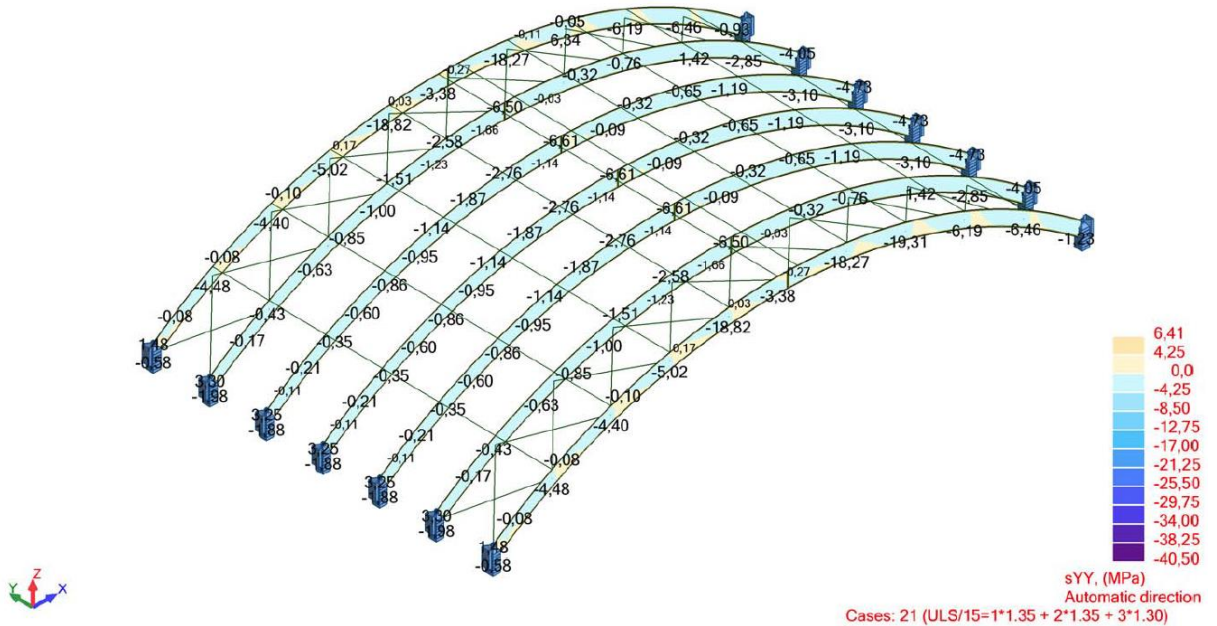
P.3.1.2 pav. Įtempiai S_{yy} (Mpa)

P.3.2. Klijuotos medienos sijų ryšių sistemos maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} klijuotos medienos arkoje



P.3.2.1 pav. Įtempiai S_{xx} (Mpa)

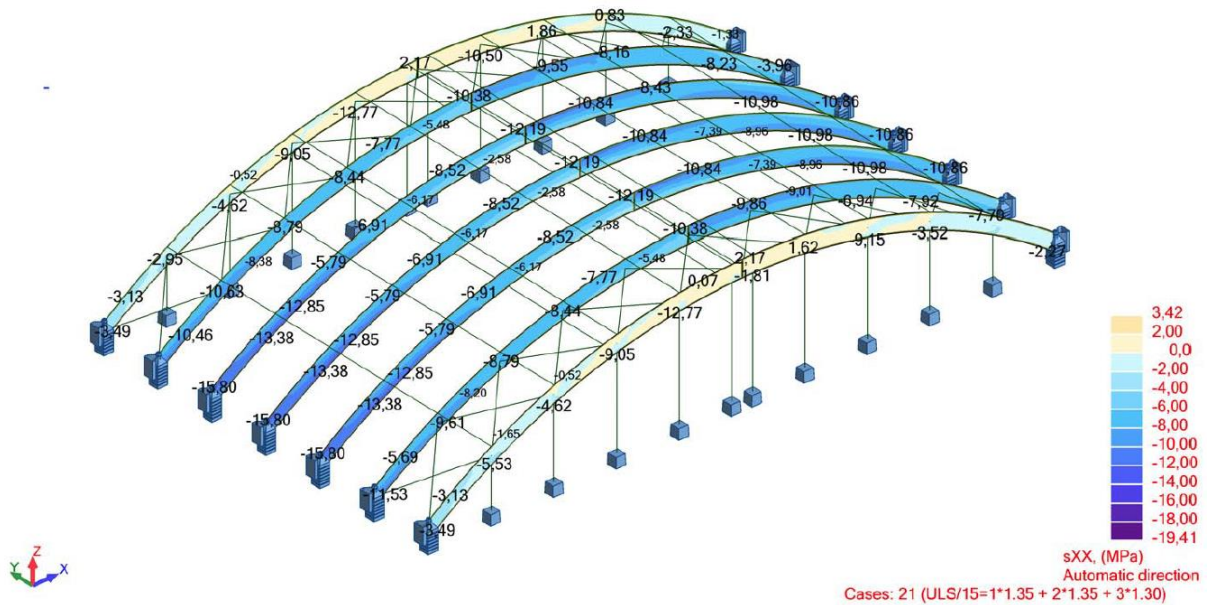
Gauti maksimalūs įtempiai S_{yy} klijuotos medienos arkoje:



P.3.2.2 pav. Įtempiai S_{yy} (Mpa)

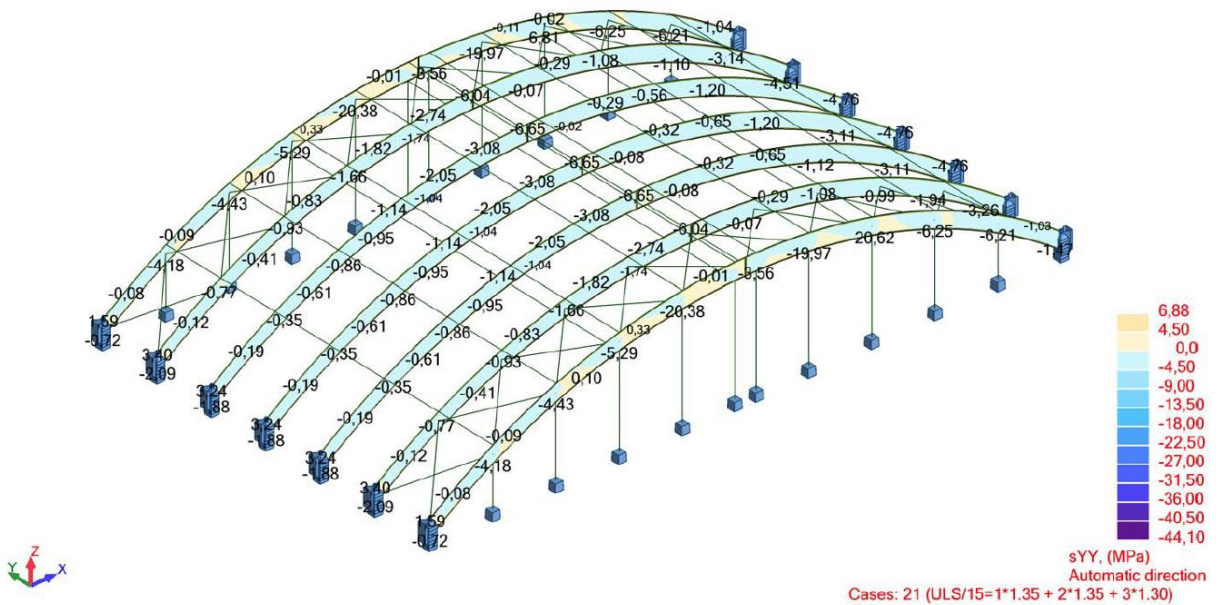
P.3.3. Klijuotos medienos sijų ryšių su papildomais arkos skerspjūvio apatinės dalies suvaržymais maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} :

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} klijuotos medienos arkoje:



P.3.3.1 pav. Įtempiai S_{xx} (Mpa)

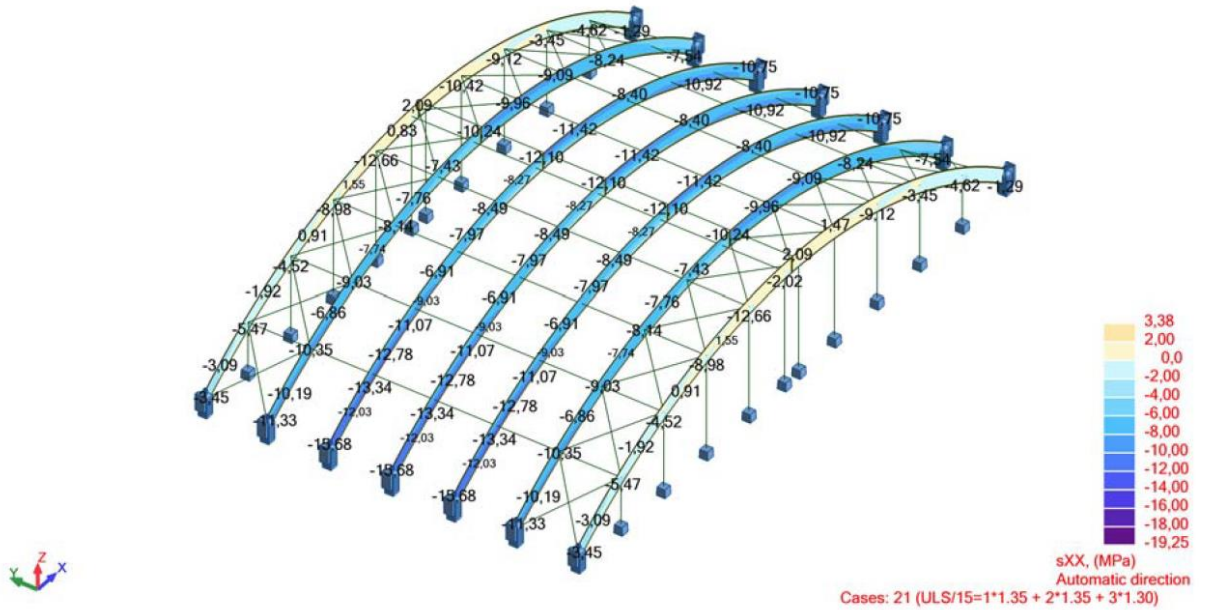
Gauti maksimalūs įtempiai S_{yy} klijuotos medienos arkoje:



P.3.3.2 pav. Įtempiai S_{yy} (Mpa)

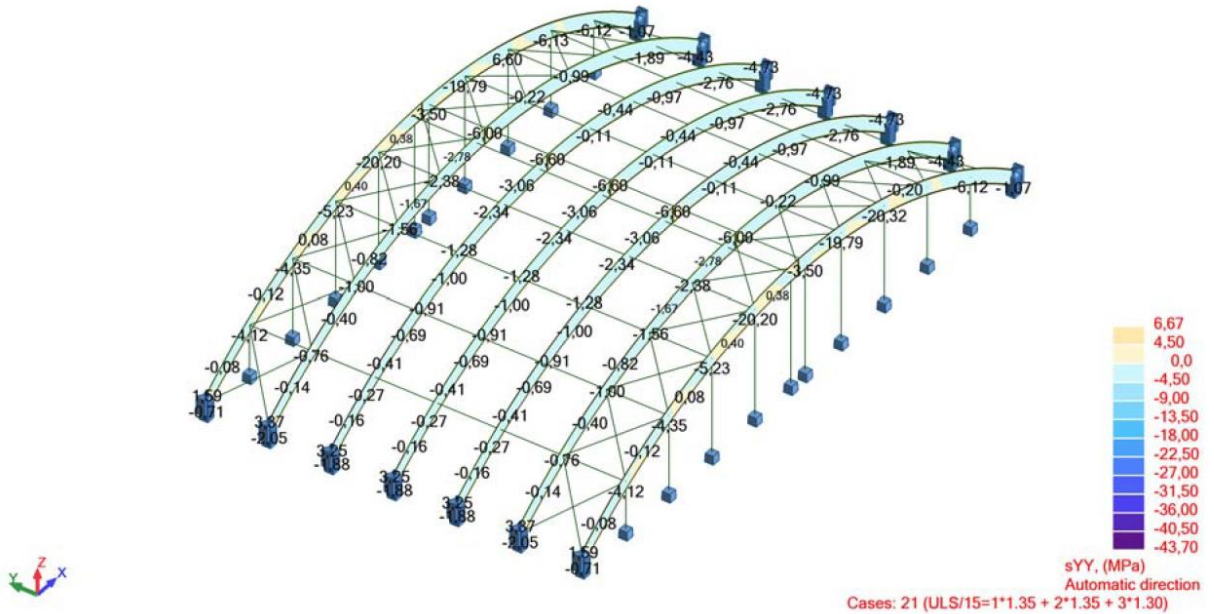
P.3.4. Klijuotos medienos sijų ryšių, išdėstyčių centre, maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} :

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} klijuotos medienos arkoje:



7.9.1 pav. Įtempiai S_{xx} (Mpa)

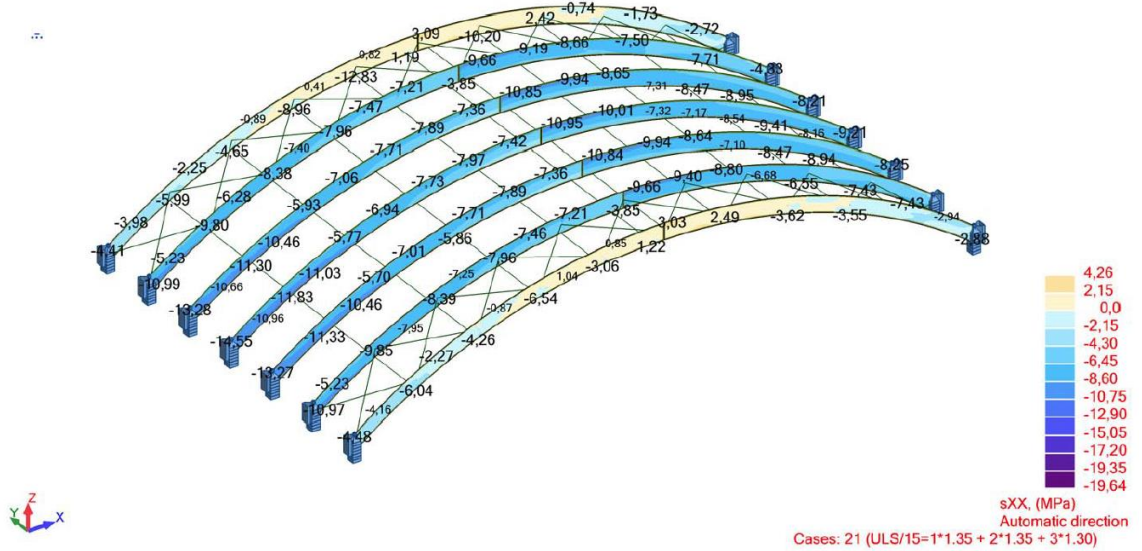
Gauti maksimalūs įtempiai S_{yy} klijuotos medienos arkoje:



7.9.2 pav. Įtempiai S_{yy} (Mpa)

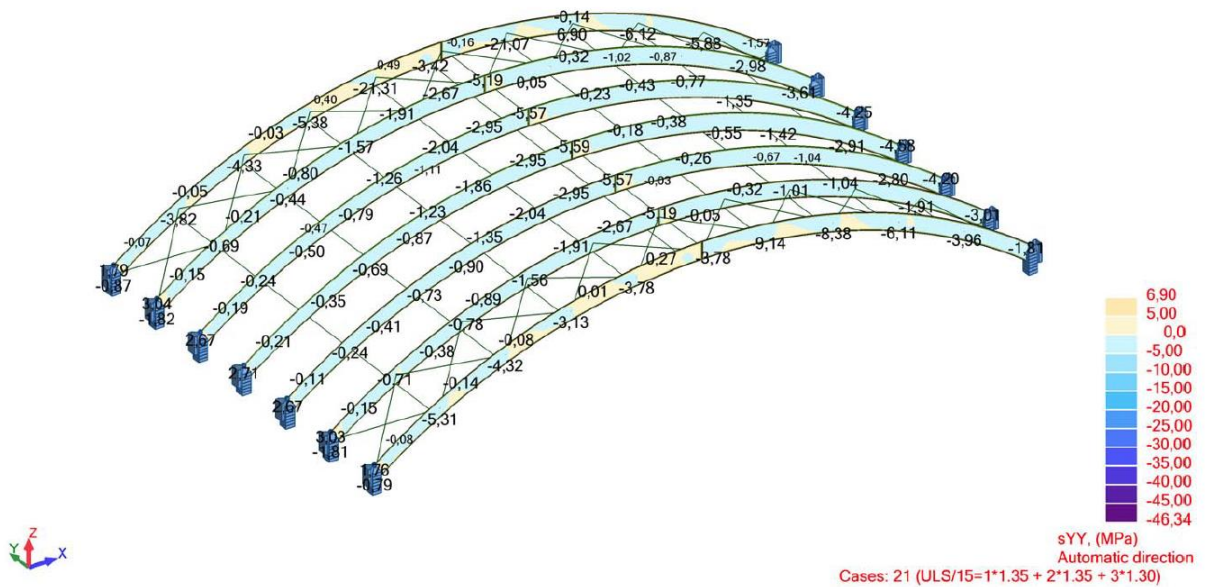
P.3.5. Klijuotos medienos arkos, suvaržytos iš plokštumos profiliuotos skardos lakštais viršutinėje juostoje su išdėstytais sijų ryšiais apatinėje juostoje, gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} .

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} klijuotos medienos arkoje:



7.9.3 pav. Įtempiai S_{xx} (Mpa)

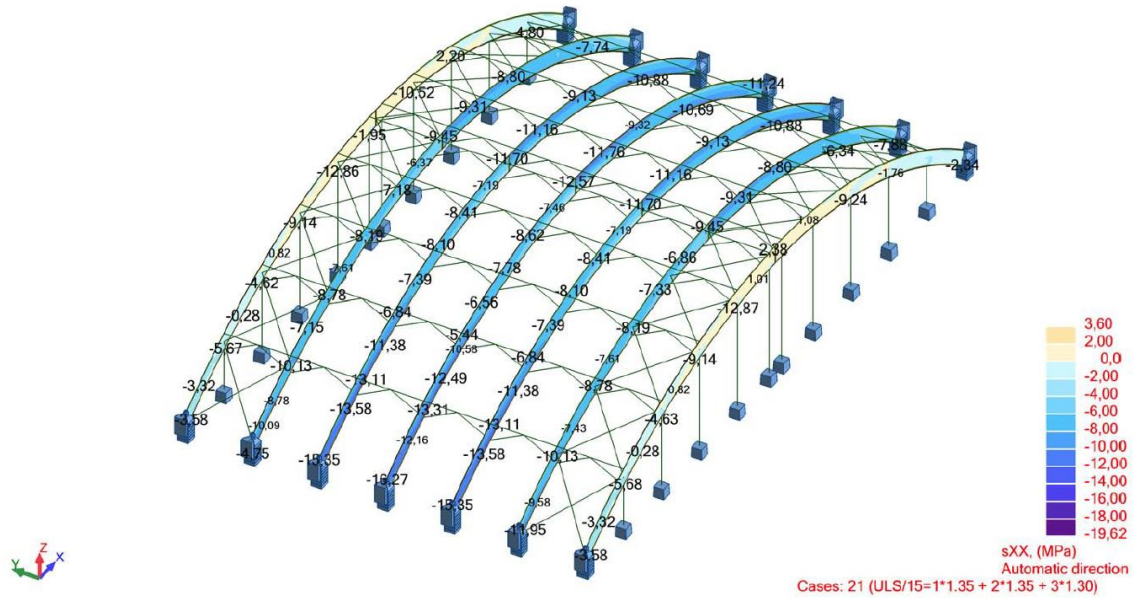
Gauti maksimalūs įtempiai S_{yy} klijuotos medienos arkoje:



7.9.4 pav. Įtempiai S_{yy} (Mpa)

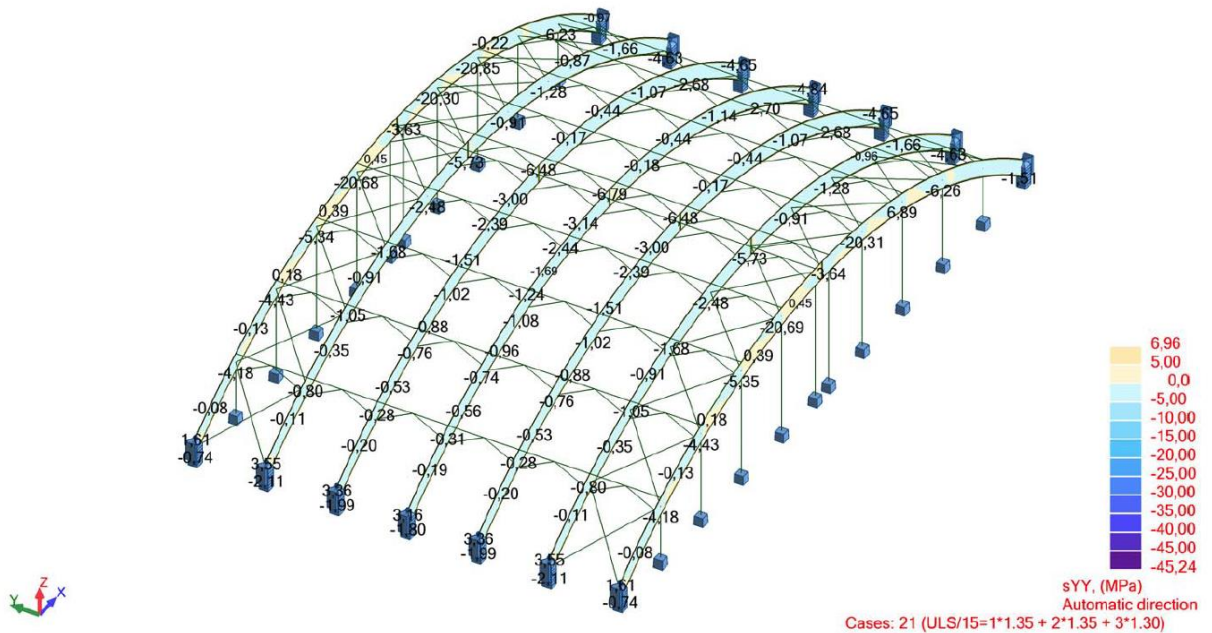
P.3.6. Klijuotos medienos arkos, suvaržytos iš plokštumos klijuotos medienos sijomis viršutinėje skerspjūvio dalyje su papildomais spyriais apatinėje gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} ir S_{yy} .

Gauti maksimalūs įtempiai S_{xx} klijuotos medienos arkoje:



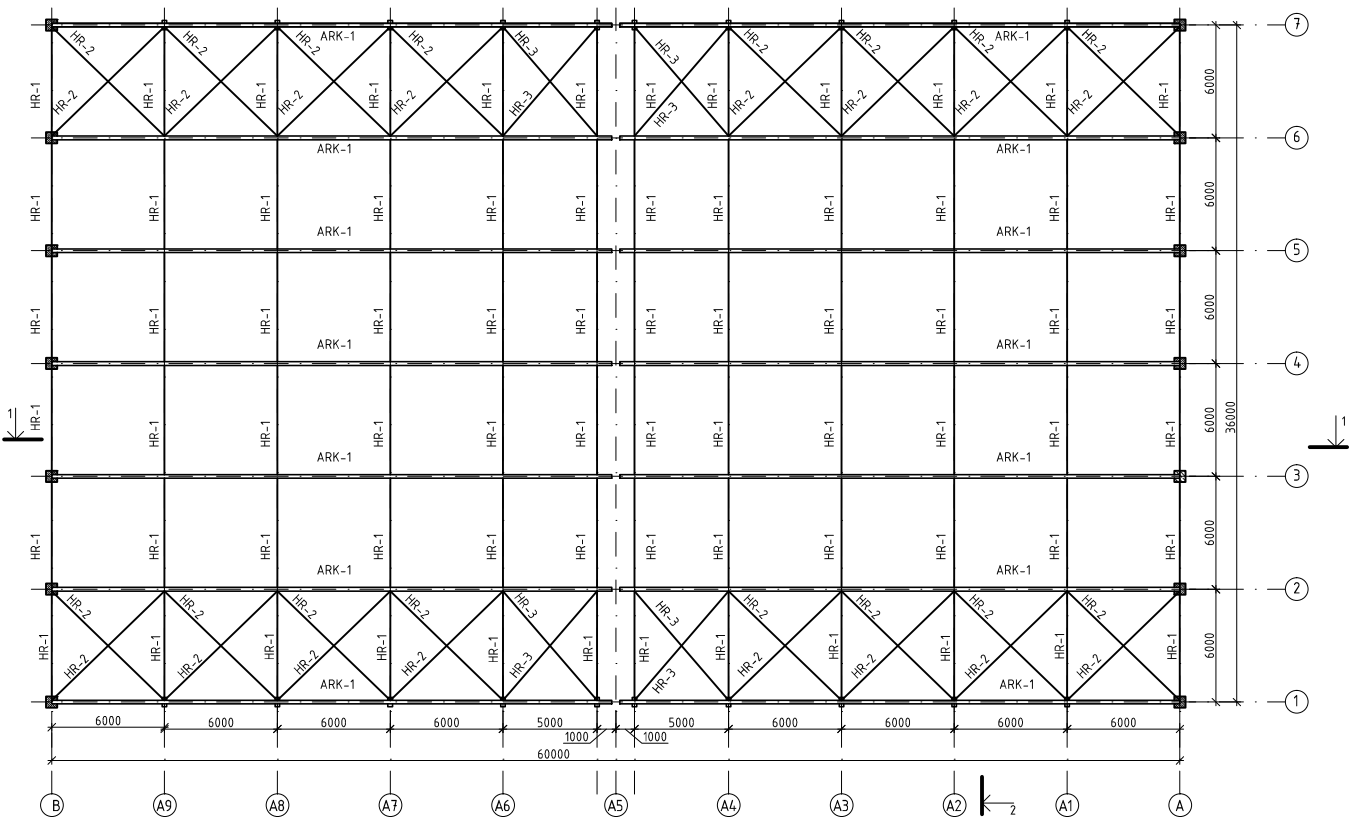
7.3.1 pav. Įtempiai S_{xx} (Mpa)

Gauti maksimalūs įtempiai S_{yy} klijuotos medienos arkoje:

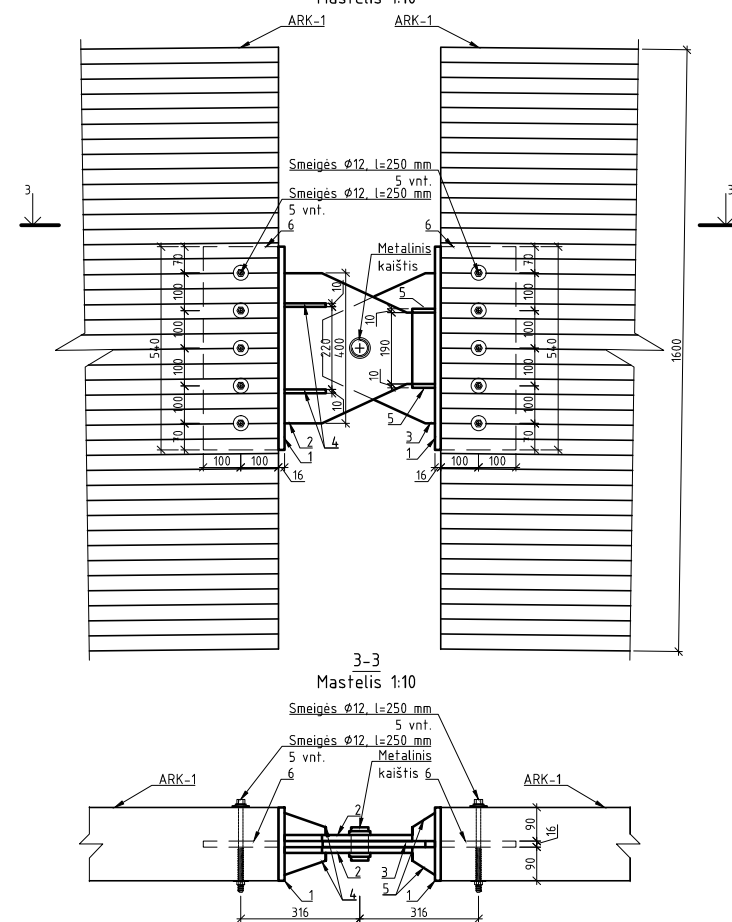


7.3.2 pav. Įtempiai S_{yy} (Mpa)

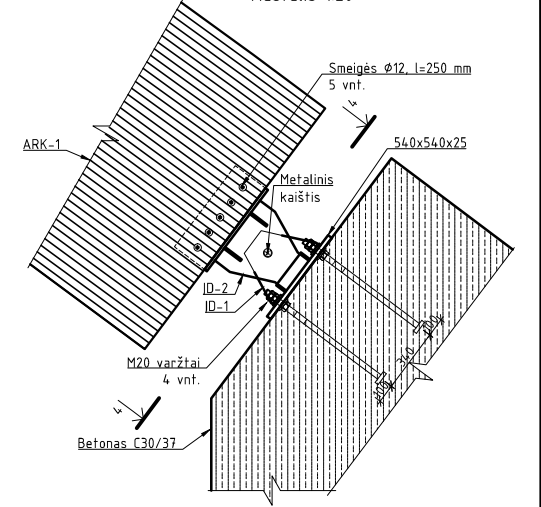
STOGO KONSTRUKCIJOS RYŠIŲ PLANAS
MASTELIS 1:200



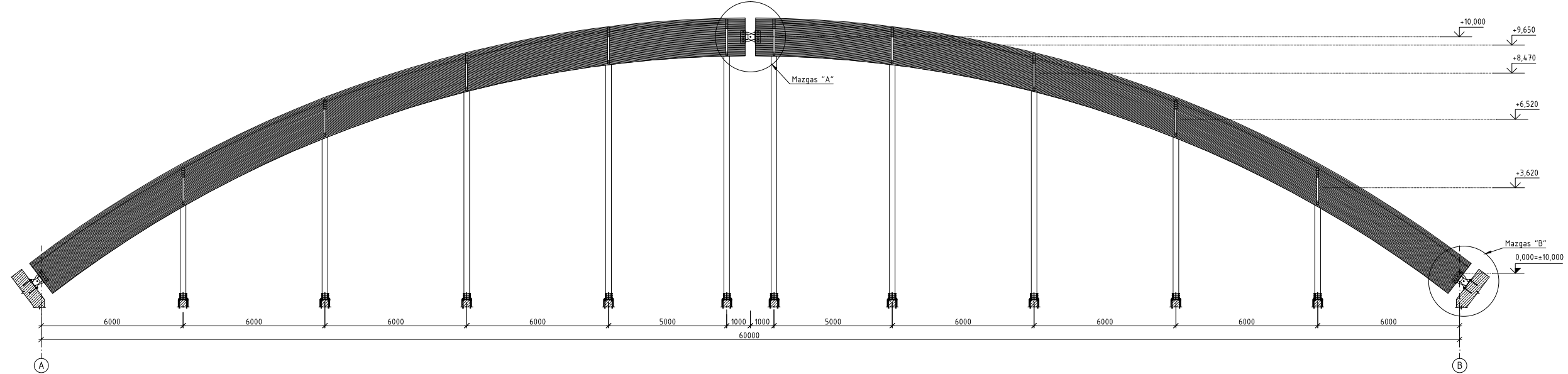
MAZGAS "A"
Mastelis 1:10



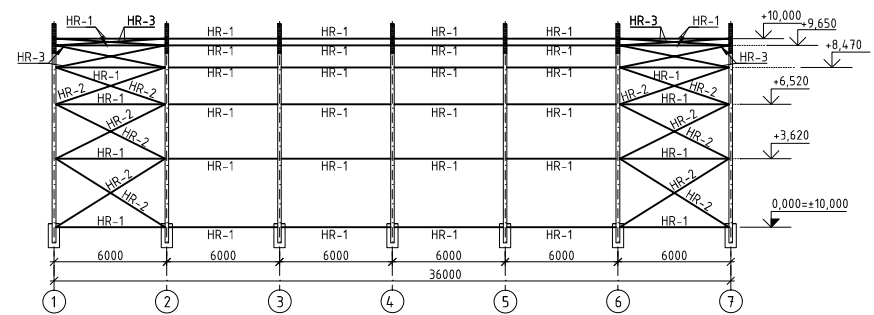
MAZGAS "B"
Mastelis 1:20



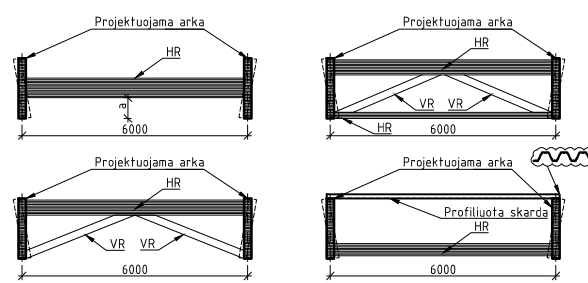
PJŪVIS 1-1
MASTELIS 1:100



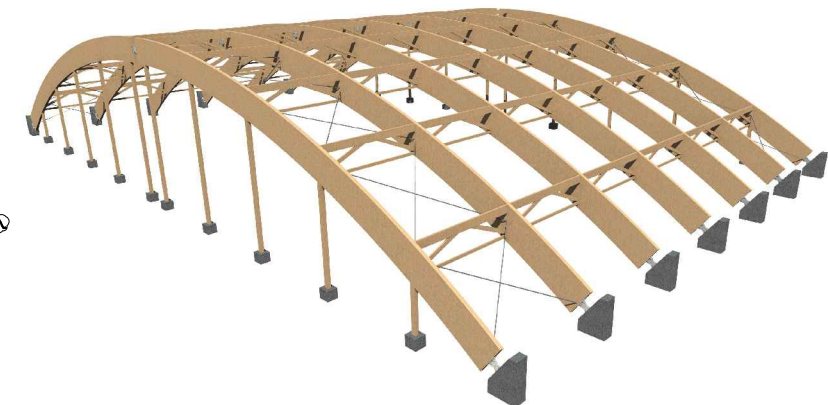
PJŪVIS 2-2
MASTELIS 1:200



GALIMOS RYŠIŲ KONSTRUKCIJŲ SCHEMAS



TRIMATIS VAIZDAS



PASTABOS:

- Arkos klijuotos medienos stiprumo klasė GI28h.
- Suprojektuotos arkos skerspjūvio matmenys 195x1600 mm.
- Arka klijuojama iš t=40 mm pjautinės medienos.
- Pateikti tik stogo konstrukcijos brėžiniai, pastatas šiuo projekto etape nagrinėjamas.
- Idejinėms detalėms naudojamas plienas S355.
- Konstrukcijos virinamos visu lietimosi perimetru pusiau automatinio būdu, G46 elektrodu, kurių fv,u=500 MPa LST EN ISO 2566:2010.
- Jei virinines siūles statinis nenurodytas, tuomet priimamas pagal STR 2.05.08:2005 7.29 lentelę + 1 mm, bet nedidėnis kaip 1,2t, kai t – ploniausios virinamo lakšto storis.
- Arkos bazai naudojamas C30/37 klasės betonas.
- Kiekiai nurodyti vienam elementui.
- Arkos tvirtinimui prie pamato naudojami M30 8.8 A klasės varžtai.

Grupė	KTU Statybos ir Architektūros fakultetas		Klijuotos medienos arkų konstrukcijų ir ryšių analizė	
SSM-6	Student. M. Alekna	2018-01	Ryšių išdėstymo planas, pjūviai, mazgai A-B, medžiagų kiekių žiniaraštis	Laida 0
	Vadovas N. Meslinas	2018-01		
Etapas	Statybinių konstrukcijų katedra		2018-MBD-SK-BR-1	Lapas 1
MBD	LT - 51367 Studentų 48, Kaunas			Lapų 1

Medžiagų žiniaraštis						
Pozicija	Žymėjimas	Pavadinimas	Ilgis mm	Kiekis vnt	Masė, kg vieneto	Pastabos
Kraigo detalės						
1	LST EN 10025	Pl 540x16	540	2	36,62	73,25
2	LST EN 10025	Pl 400x16	400	2	20,10	40,19
3	LST EN 10025	Pl 400x16	300	1	15,07	15,07
4	LST EN 10025	Pl 110x16	60	4	0,83	3,32
5	LST EN 10025	Pl 60x16	60	4	0,45	1,81
6	LST EN 10025	Pl 200x16	540	2	13,56	27,13
Pusarke ARK-1					20,30	
ARK-1 LST EN 10025					195x1600	32530
					2	10,15
					20,30	6,08m ²
Suvestinis žiniaraštis varžtams						
Pozicija	Žymėjimas	Pavadinimas	Ilgis mm	Kiekis vnt	Masė, kg vieneto	Pastabos
Varžtai arkos kraigo tvirtinimui						
Smeigės kraigo tvirtinimui		Varžtas M12 8.8	250	10		
		Varžtis M12 10 kl.		10		
		Poveržis 12		20		200HV
Varžtai arkos bazės tvirtinimui						
INK-1 Varžtai komplektai	Inkariniai varžtai	Varžtas M30 8.8 kl.	500	4		
		Varžtis M30 10 kl.		12		
		Poveržis 30		8		200HV