



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

Inga Lukšytė

TRIJŲ ŠARNYRŲ ARKOS STIPRUMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. habil. dr. Jonas Bareišis

PANEVĖŽYS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
PANEVĖŽIO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLO FAKULTETAS
TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas
(parašas) Doc. dr. Arūnas Tautkus
(data)

TRIJŲ ŠARNYRŲ ARKOS STIPRUMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (kodas 621J80001)

Vadovas

(parašas) Prof. habil. dr. Jonas Bareišis
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. Dainius Vaičiulis
(data)

Projektą atliko

(parašas) Inga Lukšytė
(data)

PANEVĖŽYS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas

(Fakultetas)

Inga Lukšytė

(Studento vardas, pavardė)

Statyba (621J80001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Trijų šarnyrų arkos stiprumo tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gruodžio 23 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano **Ingos Lukšytės** baigiamasis projektas tema „Trijų šarnyrų arkos stiprumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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.

Inga Lukšytė
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

[parašas]
(parašas)

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	2
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	4
TERMINAI IR APIBRĖŽTYS	5
ĮVADAS.....	6
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	7
1.1. Trijų šarnyrų arkos paskirtis, jų panaudojimas ir ypatumai.....	7
1.2. Druskininkų viešosios bibliotekos pastato konstrukcijos analizė.....	8
2. ARKOS STIPRUMO TYRIMO METODIKA.....	10
2.1. Veikiančių apkrovos, įrašų ir įtempių nustatymas įvairiuose konstrukcijos pjūviuose.....	10
2.2. Daugiasluoksnių lenkiamų konstrukcijų skaičiavimo metodika.....	13
2.2.1. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas iš apačios.....	13
2.2.2. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas šonuose.....	16
3. ARKOS STIPRUMO ANALITINIS TYRIMAS	18
3.1. Standumo lenkimui tyrimas	18
3.1.1. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas iš apačios.....	18
3.1.2. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas šonuose.....	19
3.2. Stiprumo tyrimas.....	20
3.2.1. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas iš apačios.....	20
3.2.2. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas šonuose.....	24
3.2.3. Rezultatai	28
3.2.4. Sunaudotos stiprinamosios medžiagos poreikis	28
3.3. Tamprumo modulio įtaka stiprumui ir standumui	29
3.3.1. Tamprumo modulio įtaka standumui kai stiprinama iš apačios	29
3.3.2. Tamprumo modulio įtaka standumui kai stiprinama šonuose.....	32
3.3.3. Tamprumo modulio įtaka stiprumui kai stiprinama iš apačios	35
3.3.4. Tamprumo modulio įtaka stiprumui kai stiprinama šonuose	37
3.4. Sustiprintos arkos laikomosios galios skaičiavimas	40
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS.....	42
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	44

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Trijų šarnyrų arkos schema	7
1.2 pav. Rėminė konstrukcija (pusarkė).....	9
1.3 pav. Rėminė konstrukcija (pusarkė) įtvirtinimas	9
2.1 pav. Skaičiuojamoji schema	10
2.2 pav. Ašinių jėgų diagrama N_i	11
2.3 pav. Skersinių jėgų diagrama Q_i	11
2.4 pav. Lenkimo momentų diagrama M_i	12
2.5 pav. Daugiasluoksnės pusarkės skaičiuojamoji schema, kai stiprinama iš apačios	14
2.6 pav. Pusarkės normalinių įtempių pasiskirstymas, kai stiprinama iš apačios, $\sigma_1 - \sigma_2$ – medinės konstrukcijos elementas, $\sigma_3 - \sigma_4$ – plieno plokštelė	16
2.7 pav. Daugiasluoksnės pusarkės skaičiuojamoji schema, kai stiprinama šonuose	16
2.8 pav. Pusarkės normalinių įtempių pasiskirstymas, kai stiprinama šonuose, $\sigma_1 - \sigma_2$ – medinės konstrukcijos elementas, $\sigma_3 - \sigma_4$ – plieno plokšte	17
3.1 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama plokštelė tvirtinama iš apačios.....	18
3.2 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose.....	19
3.3 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Medis, pjūvis 6	20
3.4 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Plienas, pjūvis 6	20
3.5 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Medis, pjūvis 7	21
3.6 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Plienas, pjūvis 7	21
3.7 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Medis, pjūvis 8	22
3.8 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Plienas, pjūvis 8	22
3.9 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Medis, pjūvis 9	23
3.10 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Plienas, pjūvis 9	23
3.11 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Medis, pjūvis 6	24
3.12 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Plienas, pjūvis 6	24
3.13 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Medis, pjūvis 7	25
3.14 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Plienas, pjūvis 7	25
3.15 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Medis, pjūvis 8	26
3.16 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Plienas, pjūvis 8	26
3.17 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Medis, pjūvis 9	27
3.18 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Plienas, pjūvis 9	27
3.19 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama iš apačios, pjūvis 6.....	29
3.20 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 7	30

3.21 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 8	31
3.22 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 9	31
3.23 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 6	32
3.24 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 7	33
3.25 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 8	33
3.26 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 9	34
3.27 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 6.....	35
3.28 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 7.....	35
3.29 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 8.....	36
3.30 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 9.....	37
3.31 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 6.....	37
3.32 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 7.....	38
3.33 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 8.....	39
3.34 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 9.....	39

LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1 lentelė. Jėgos, įrašų, įtempių rezultatų lentelė.....	13
3.1 lentelė. Stiprinamosios medžiagos storis, kai stiprinama apačioje ir kai stiprinama šonuose.....	28
3.2 lentelė. Sunaudojamos plieninės plokštelės poreikis, kai tvirtinama apačioje	28
3.3 lentelė. Sunaudojamos plieninės plokštelės poreikis, kai tvirtinama šonuose	29
3.4 lentelė. Elemento laikomosios galios padidėjimas, kai plokštelė stiprinama apačioje	40
3.5 lentelė. Elemento laikomosios galios padidėjimas, kai plokštelė stiprinama šonuose	41

TERMINAI IR APIBRĖŽTYS

D – standumas lenkiant

$\sigma_{fakt,i}$ – faktiniai ribiniai įtempiai

σ – normaliniai įtempiai

y_E – standumo centru koordinatė

I_i – inercijos momentas

A_i – plotas

W_i – atsparumo momentas

B – ašinis standumas

S_{xE} – statinis momentas

\mathcal{S}_1 – aukštis

b – plotis

E – tamprumo modulis

ĮVADAS

Pastaruoju metu, projektuojant visuomeninės paskirties (sporto, teatrų, konferencijų sales), pramoninės ir žemės ūkio paskirties (chemiškai agresyvių medžiagų, biriųjų medžiagų angarus ir sandėlius) pastatus, pėsčiųjų tiltus, individualios statybos gyvenamuosius namus, vietoj gelžbetoninių ir metalinių laikančiųjų konstrukcijų naudojami klijuotos medienos gaminiai (sijos, arkos, santvaros ir kt.).

Būtent naudojant klijuotos medienos arkos konstrukcijas pastatyta Druskininkų savivaldybės viešoji biblioteka. Neseniai įvykę tragiški įvykiai Rygoje (2013 m, lapkričio 21 d. įgriuvo Maxima parduotuvės stogo konstrukcija) verčia nerimauti ir dėl šio viešosios paskirties objekto konstrukcijų reikiamo stiprumo, kuriame lankosi daug žmonių ir ypač jaunimo. Patikrinsime dabartinių konstrukcinių sprendimų stiprumo atsargas ir pateiksime rekomendacijas bei pasiūlysim efektyviausius konstrukcijos stiprinimo variantus, kuriais galima vadovautis atliekant statinio rekonstrukciją, keičiant pagrindinius konstrukcinius sprendinius, turinčius įtakos konstrukcijos laikomajai galiai statant naują statinį ir naudojant to paties tipo konstrukcijos elementus (pusarkes).

Baigiamojo magistro darbo tikslas: ištirti Druskininkų viešosios bibliotekos konstrukcijos elementų (pusarkės) stiprumą ir nustatyti būdus jam padidinti.

Pagrindiniai darbo uždaviniai:

- Nustatyti veikiančias apkrovas, įrašas ir įtempius įvairiuose konstrukcijos pjūviuose;
- Išnagrinėti būdus tolygiam įtempimų pasiskirstymui pagal sijos ilgį;
- Nustatyti papildomų konstrukcinių elementų storio ir tamprumo modulio įtaką pusarkės standumui ir stiprumui;
- Parinkti stiprinamųjų elementų matmenis, siekiant gauti tolygesnį įtempimų pasiskirstymą;
- Nustatyti sustiprintos konstrukcijos laikomąją galią.

Tyrimo metodai:

Analitinis standumo lenkiant ir stiprumo tyrimo metodas.

Praktinė vertė:

Įdiegus darbe pateiktus pasiūlymus, konstrukcija gali atlaikyti 2,45 karto didesnes apkrovas.

Apimtis: 44 puslapiai

Magistro darbą sudaro 3 skyriai, išvados ir rekomendacijos, literatūros sąrašas.

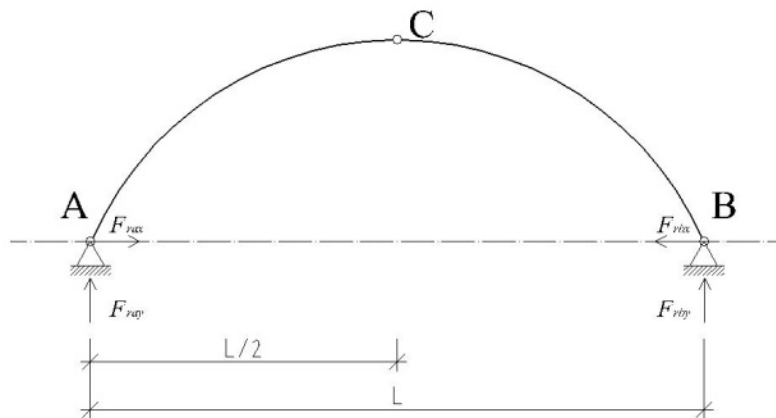
1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Trijų šarnyrų arkos paskirtis, jų panaudojimas ir ypatumai

Arkos, kaip konstrukciniai gaminiai, pasižymi stiprumu bei lengvumu. Pagal stiprumą klijuotos medienos laikomoji galia, tenkanti masės vienetui, yra didesnė, palyginus su gelžbetoninėmis ir metalinėmis konstrukcijomis. Arka atspari chemiškai agresyviai aplinkai, ekonomiška, estetiška, pasižymi formų įvairove, ekologiška (konstrukcija gaminama iš atsinaujinančių gamtos išteklių, neišskiria kenksmingų medžiagų). [7]

Esant dideliems konstrukcijų tarpatramiams, tikslinga naudoti klijuotos medienos arkas. Klijuotos medienos arkos – tai aukšto techninio lygio lenkti mediniai elementai. Klijuotos medienos arkos konstrukcija dažniausiai naudojama perdengti pastatų 12–70 m tarpatramiui, atskirais atvejais iki 100 m ir daugiau. Šie gaminiai atsparūs drėgmės ir chemiškai agresyvios aplinkos poveikiui, o didesni konstrukcijų skerspjūviai užtikrina pakankamą konstrukcijos atsparumą ugniai. Dažniausiai arkos gaminamos iš eglės, pušies ar maumedžio 16 – 40 mm lamelių. Klijuotos medienos stiprumo klasė 24c/h–32c/h. Mažiausias arkos galimas lenkimo spindulys 2,5 m, o plotis 0,080 m. [7]

Analitiniu atžvilgiu, bendriausias trišarnyrės arkos atvejis yra tuomet, kai arka nesimetrišinė, jos atraminiai šarnyrai – skirtingame aukštyje, o apkrova – bet kurios krypties jėgos. [1]



1.1 pav. Trijų šarnyrų arkos schema

Kai trijų šarnyrų arka yra simetriška ir apkrovos pasiskirsčiusios tolygiai, skaičiavimai atliekami nagrinėjant vieną arkos dalį – pusarkę AC. Tokia konstrukcija, kaip fasado pagrindinė laikančioji konstrukcija, yra Druskininkų viešosios bibliotekos klijuotos medienos pusarkės. [1]

1.2. Druskininkų viešosios bibliotekos pastato konstrukcijos analizė

Projektuojamas dviejų aukštų dviejų laiptinių pastatas yra į pietų pusę nuo M. K. Čiurlionio gatvės, tarp V. Kudirkos ir K. Dineikos gatvių, už 130 m nuo Druskonio ežero, Druskininkuose.

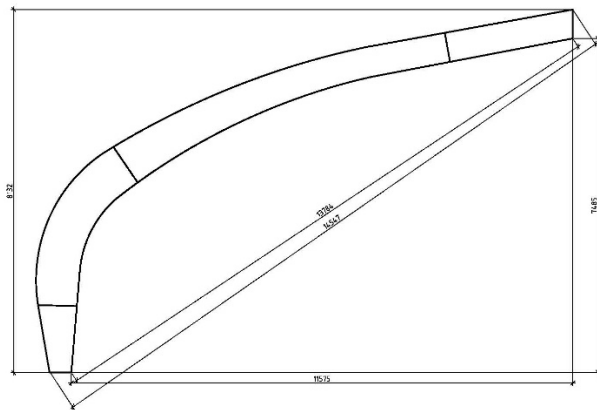
Pastatas priskiriamas P.2.1 (statiniai, skirti masiniam lankytojų srautui su nustatytu vietų skaičiumi lankytojams) statinių grupei (pagal STR2.01.04:2004).

Statinio naudojimo paskirtis – negyvenamasis pastatas, pogrupis – kultūros paskirties pastatas.

Projektuojamas pastatas yra dviejų tūrių – šiaurinėje pastato dalyje griežto stačiakampio tūrio ir nugludinto organiškai įsiliejančių į aplinką formų, tūrio pietinėje pusėje. [2]

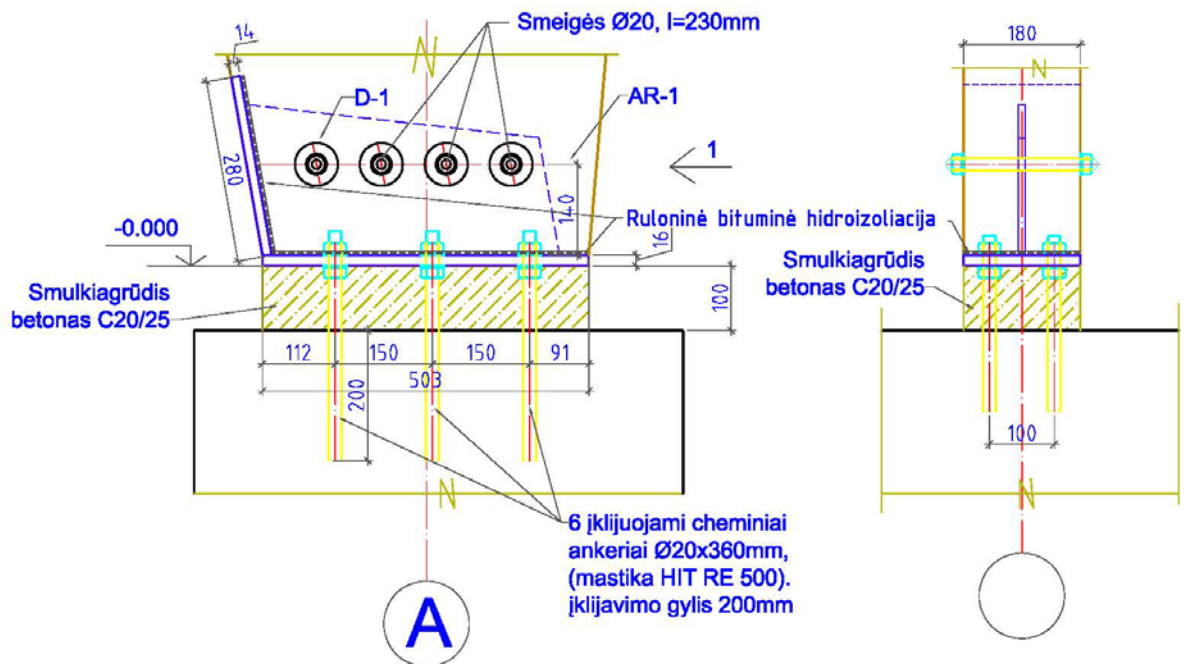
Pastato šiaurinės, vakarinės bei rytinės pusės išorinės sienos projektuojamos mūrinės, 250 mm storio, iš keraminių plytų ant sudėtinio skiedinio. Sienos iš patalpų pusės tinkuojamos, iš lauko pusės (šiaurinės ir dalis vakarinės bei rytinės dalies fasadas) – apšiltinamos 150 mm storio akmens vatos plokštėmis, įrengiamas oro tarpas ir apmūrijamos 115 mm storio klinkerio apdailinėmis plytomis. Dalis fasado sienų vakarinėje ir rytinėje pusėje apšiltinamos 130 mm storio vatos plokštėmis, įrengiant garo bei vėjo izoliaciją ir pritvirtinamos fasadinės „Eternit“ plokštės, kurių ilgis 2,5 m, plotis 1,25 m. Pastato pietinės dalies išorės karkasas projektuojamas iš klijuotos medienos arkų, kurios sujungtos erdviniais mediniais ryčiais ir vientisos medienos ilginiais. Sienos iš patalpų pusės tinkuojamos, iš lauko pusės įrengiama skardos profilių karkasas, oro tarpas, 20 mm lentų paklotas, 1 sluoksnio garo izoliacijos plėvelė, 150 mm storio akmens vatos sluoksnis, karkasas iš tašelių, kurių plotis ir ilgis 50 mm, su įrengtu tarp jų 50 mm akmens vatos termoizoliacijos sluoksniu, 16 mm OSB plokštė, ruloninė 2 sluoksnių klijuojama hidroizoliacijos danga, plieniniai cinkuotos skardos grebėstai, „Eternit“ stogo danga.

Pastato laikančiosios medinės konstrukcijos – rėminės sijos (pusarkė) gaminamos iš GL28h klijuotos medienos pagal LST EN 1194 reikalavimus. Medienos tankis 410 kg/m³, drėgnumas konstrukcijų gamybos metu <8 %. Klijuotos medienos sijų ir jungimo mazgų tvirtinimo metalinės detalės suprojektuotos remiantis STR 2.05.08:2005. Naudojamas plienas S355. Metalinės detalės ir jungimo elementai cinkuoti karštu būdu. Matomos metalinės detalės padengiamos specialia ugniai atsparia medžiaga (atsparumas ugniai REI 45). [2]



1.2 pav. Rėminė konstrukcija (pusarkė)

Rėminė konstrukcija tvirtinama smeigėmis prie metalinių įdėtinių detalių, kurios cheminiais ankeriais yra pritvirtinamos prie betono pasluoksnio.[2]



1.3 pav. Rėminė konstrukcija (pusarkė) įtvirtinimas

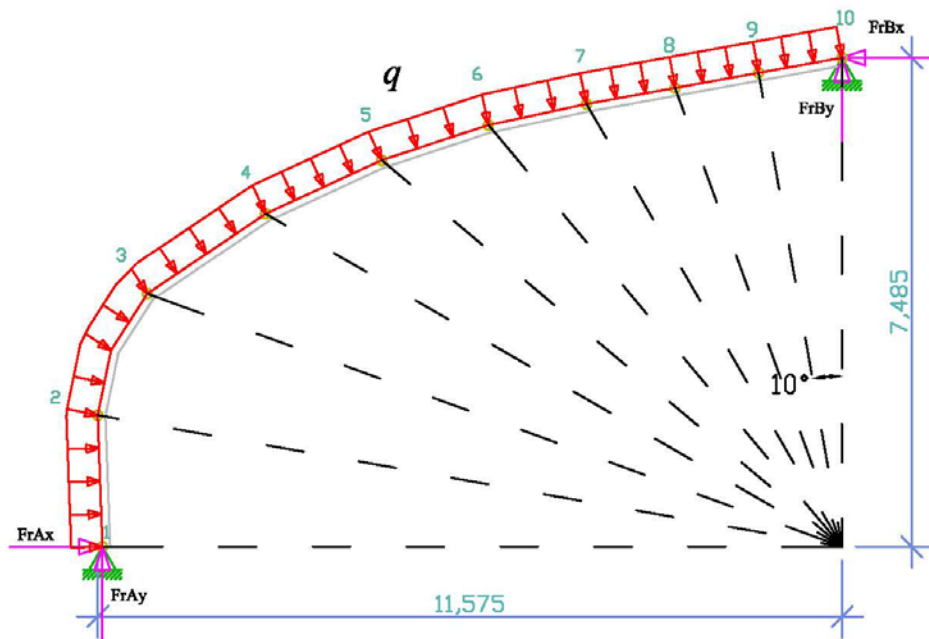
2. ARKOS STIPRUMO TYRIMO METODIKA

2.1. Veikiančių apkrovos, įrašų ir įtempių nustatymas įvairiuose konstrukcijos pjūviuose

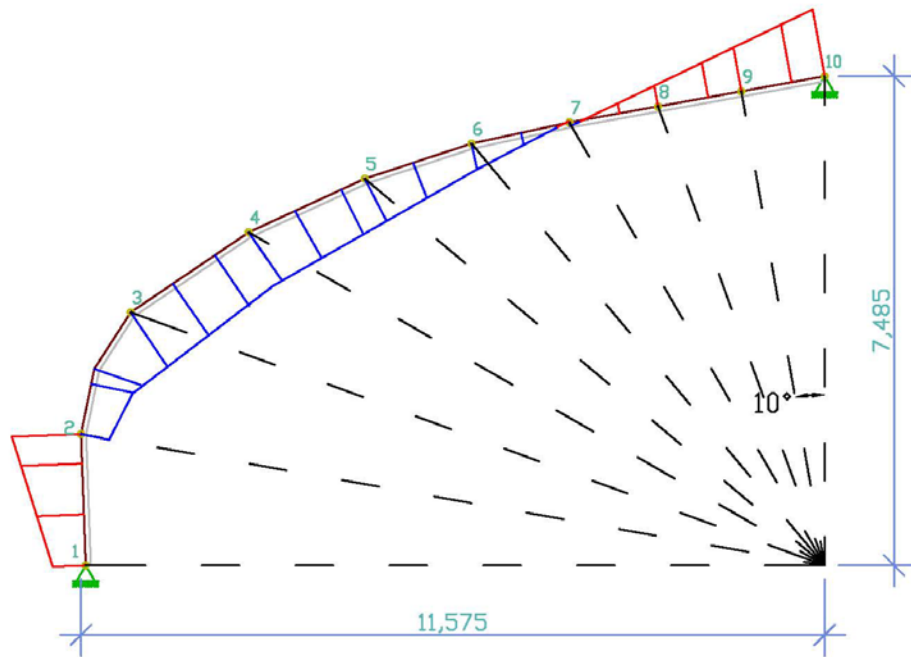
Tyrimo objektas – Druskininkų viešosios bibliotekos fasado denginio laikančioji konstrukcija – klijuotos medienos kintamo skerspjūvio pusarkė. Pusarkės skerspjūvio plotis 0,18 m, aukštis 0,50 – 1,07 m, ilgis 16,93 m. Medienos stiprumo klasė GL28h, kurios leistinieji įtempiai lygūs 17,0 MPa. [2, 3, 4]

Sudaryta skaičiuojamoji pusarkės schema (2.1 pav.) – tai dviatramė sija, apkrauta išskirstytu krūviu. Atstumas tarp arkų yra 6 m. Veikiančios apkrovos: konstrukcijų savasis svoris 0,624 kN/m; stogo konstrukcijos apkrova – 10,78 kN/m; sniego apkrova (1 rajonas) – 12,48 kN/m; vėjo apkrova (1 rajonas, 24 m/s) – 1,872 kN/m. Pagal šiuos duomenis apskaičiuotas suminis išskirstytas krūvis yra $q=25,76\text{kN/m}$, horizontalios projekcijos atstumas tarp atraminių taškų $L=11,58\text{ m}$, arkos ilgis $l=16,93\text{ m}$. [2, 3, 4]

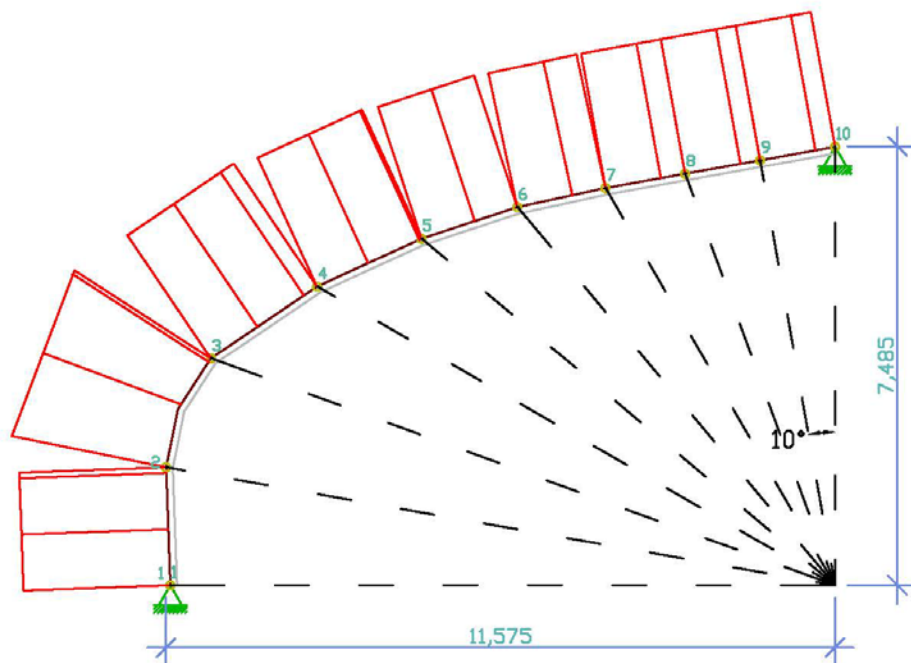
Pusarkė suskirstoma į 10 pjūvių, parinktu žingsniu $\varphi = 10^\circ$, t. y. $i=1..10$. Apskaičiuojamos ašinės ir skersinės jėgos N_i , Q_i ir lenkimo momentai M_i . (programa *Frilo.System.Next*). [8]



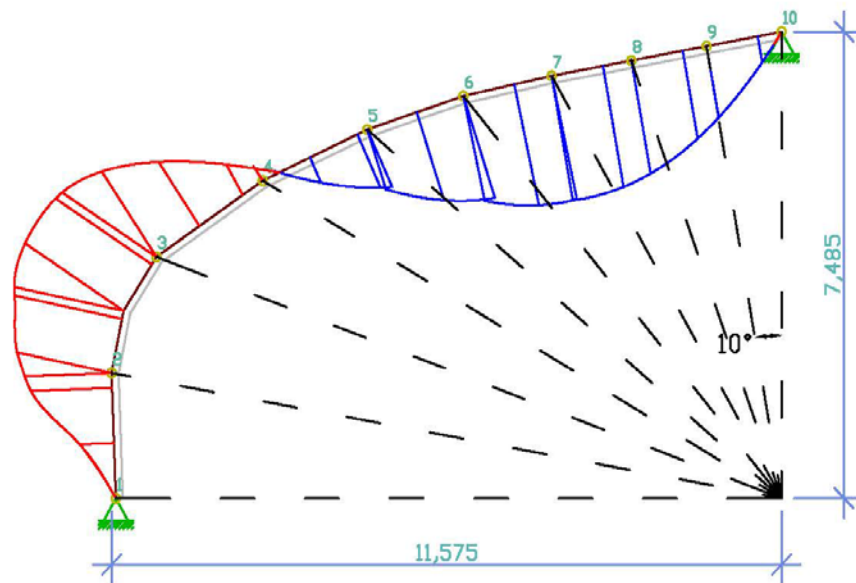
2.1 pav. Skaičiuojamoji schema



2.2 pav. Ašinių jėgų diagrama N_i



2.3 pav. Skersinių jėgų diagrama Q_i



2.4 pav. Lenkimo momentų diagrama M_i

Apskaičiuojami pusarkės plotai A_i , atsparumo momentai W_i ir faktiniai ribiniai įtempiai $\sigma_{fakt,i}$ bei atsargos koeficientai n_i skerspjūviuose i . [3, 4]

$$A_i = b_i \cdot h_i; \quad (1)$$

$$W_i = \frac{b_i \cdot h_i^2}{6}; \quad (2)$$

čia b_i – pusarkės plotis pjūvyje i ; h_i – jos aukštis pjūvyje i . [3, 4]

$$\sigma_{fakt,i} = \frac{|N_i|}{A_i} + \frac{M_i}{W_i}; \quad (3)$$

čia N_i – ašinė jėga pjūvyje i ; A_i – pusarkės skerspjūvio plotas pjūvyje i ; M_i – lenkimo momentas pjūvyje i ; W_i – atsparumo momentas pjūvyje i .

$$n_i = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{fakt,i}}; \quad (4)$$

čia σ_{adm} – suprojektuotos pusarkės leistinasis įtempis; $\sigma_{fakt,i}$ – pusarkės faktiniai įtempiai pjūvyje i .

2.1 lentelė. Jėgos, įrašų, įtempių rezultatų lentelė

Pjūvis	q, kNm	N, MN	Q, MN	M, MNm	b, m	h, m	Wxi, m ³	Ai, m ²	$\sigma_{(fakt,i)}$, MPa	σ_{adm} , MPa	n
1	25,76	-0,243	-0,050	-0,006	0,18	0,5	0,008	0,090	3	17	0
2	25,76	-0,261	-0,100	-0,160	0,18	1,00	0,030	0,180	7	17	2,43
3	25,76	-0,247	0,106	-0,204	0,18	1,091	0,036	0,196	7	17	2,43
4	25,76	-0,236	0,088	-0,027	0,18	1,032	0,032	0,186	2	17	8,5
5	25,76	-0,230	0,062	0,099	0,18	0,867	0,023	0,156	6	17	2,83
6	25,76	-0,227	0,040	0,168	0,18	0,768	0,018	0,138	11	17	1,55
7	25,76	-0,227	0,006	0,198	0,18	0,715	0,015	0,129	15	17	1,13
8	25,76	-0,227	-0,031	0,180	0,18	0,67	0,013	0,121	16	17	1,06
9	25,76	-0,227	-0,660	0,113	0,18	0,649	0,013	0,117	11	17	1,55
10	25,76	-0,227	-0,100	0,000	0,18	0,649	0,013	0,117	2	17	8,5

Gauti duomenys rodo, kad iš esmės Druskininkų viešosios bibliotekos vienos iš sienų ir stogo konstrukcijos – skaičiuojamos pusarkės stiprumas yra pakankamas. Pavojingiausi pjūviai 6, 7, 8, 9.

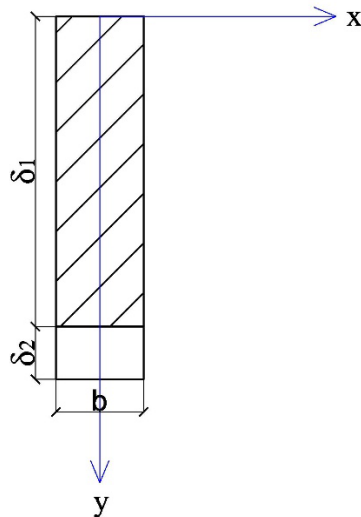
2.2. Daugiasluoksnių lenkiamų konstrukcijų skaičiavimo metodika

Baigiamojo darbo tyrimai atliekami naudojantis prof. J. Bareišio daugiasluoksnių konstrukcinių elementų skaičiavimo metodika. [5, 6].

Daugiasluoksnius lenkiamas konstrukcijos elementas (pusarkė) skaičiuojamas dvejais būdais, atsižvelgiant į stiprinamosios medžiagos tvirtinimo padėtį.

2.2.1. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas iš apačios

Medinės pusarkės aukštis δ_1 , plotis b , tamprumo modulis $E_1=12,60$ GPa. Plieno plokštelė aukštis δ_2 , plotis $b=0,18$ m, tamprumo modulis $E_2=200$ GPa.



2.5 pav. Daugiasluoksnės pusarkės skaičiuojamoji schema, kai stiprinama iš apačios

Standumo centro koordinatės nustatymas.

$$y_E = \frac{S_{xE}}{B} = \frac{\delta_1 b \frac{\delta_1}{2} E_1 + \delta_2 b \left(\frac{\delta_2}{2} + \delta_1 \right) E_2}{\delta_1 b E_1 + \delta_2 b E_2}; \quad (5)$$

čia B – ašinis standumas; S_{xE} – statinis momentas. [5, 6]

Daugiasluoksnės pusarkės standumo lenkiant apskaičiavimas. Iš n sluoksnių, kurių kiekvienas savasis standumas $I_i E_i$ sudarytų daugiasluoksnių sijų standumas lenkiant

$$D = \sum_{i=1}^n I_i E_i \quad (6)$$

čia I_i – i -ojo elemento inercijos momentas; E_i – i -ojo sluoksnio tamprumo momentas. [5, 6]

Nagrinėjamą pusarkę sudaro 2 sluoksniai, tai

$$D = I_1 E_1 + I_2 E_2; \quad (7)$$

Nagrinėjamo sluoksnio skerspjūvio vidurio atstumas y^* iki pjūvio neutraliosios ašies skaičiuojamas iš lygybės

$$y^* = y_n - 0,5\delta_i - \sum_{m=1}^{i-1} \delta_m; \quad (8)$$

Nagrinėjamos pusarkės inercijos momentas I_i , kai $i=1..2$ [5, 6]

$$I_1 = \frac{b\delta_1^3}{12} + b\delta_1 y_1^{*2}; \quad (9)$$

$$y_1^* = y_E - 0,5\delta_1; \quad (10)$$

$$I_2 = \frac{b\delta_2^3}{12} + b\delta_2 y_2^{*2}; \quad (11)$$

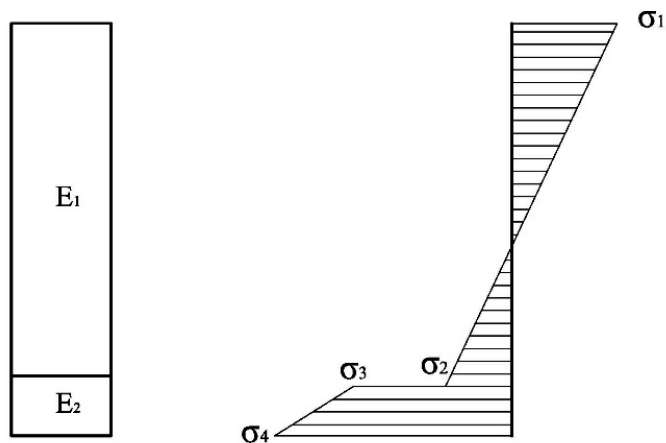
$$y_2^* = y_E - 0,5\delta_2 - \delta_1; \quad (12)$$

Normalinių įtempių nustatymas.

$$\sigma_i = \frac{My_i}{D} E_i; \quad (13)$$

čia σ_i – i-ojo sluoksnio normaliniai įtempiai; E_i – i-ojo sluoksnio tamprumo modulis; D – standumas lenkiant; y_i – atstumas nuo neutraliosios linijos iki nagrinėjamo sluoksnio. [5, 6]

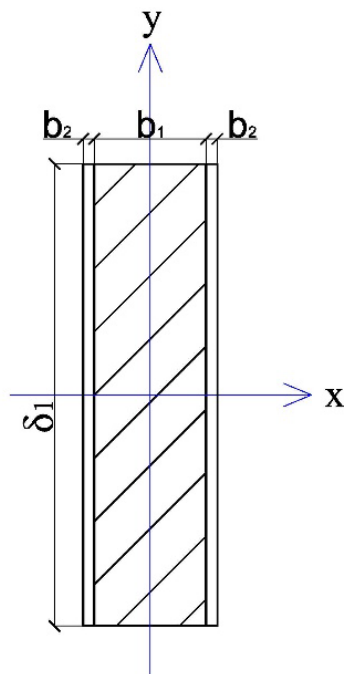
Pereinant iš vienos pusarkės sluoksnio į kitą gaunamas įtempių šuolis, proporcingas tų sluoksnių tamprumo moduliui.



2.6 pav. Pusarkės normalinių įtempių pasiskirstymas, kai stiprinama iš apačios, $\sigma_1 - \sigma_2$ – medinės konstrukcijos elementas, $\sigma_3 - \sigma_4$ – plieno plokštelė

2.2.2. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas šonuose

Medinės arkos aukštis δ_1 , plotis b_1 , tamprumo modulis $E_1=12,60$ GPa. Plieno plokštelė aukštis δ_2 , plotis b_2 , tamprumo modulis $E_2=200$ GPa.

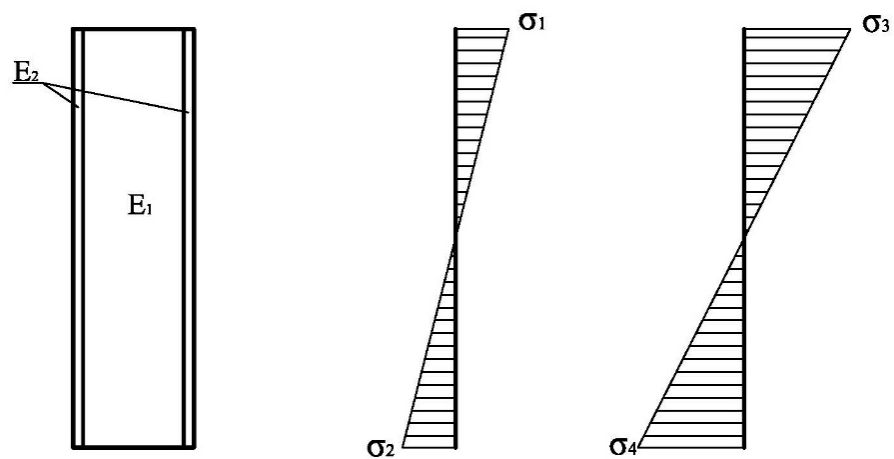


2.7 pav. Daugiasluoksnės pusarkės skaičiuojamoji schema, kai stiprinama šonuose

Standumo centro koordinatės nustatymas. Standumo centro koordinatė skaičiuojama remiantis (5) formule.

Daugiasluoksnės pusarkės standumo apskaičiavimas. Standumas skaičiuojamas remiantis (6) formule.

Normalinių įtempių nustatymas. Normaliniai įtempiai skaičiuojami remiantis (13) formule.



2.8 pav. Pusarkės normalinių įtempių pasiskirstymas, kai stiprinama šonuose, $\sigma_1 - \sigma_2$ – medinės konstrukcijos elementas, $\sigma_3 - \sigma_4$ – plieno plokštė

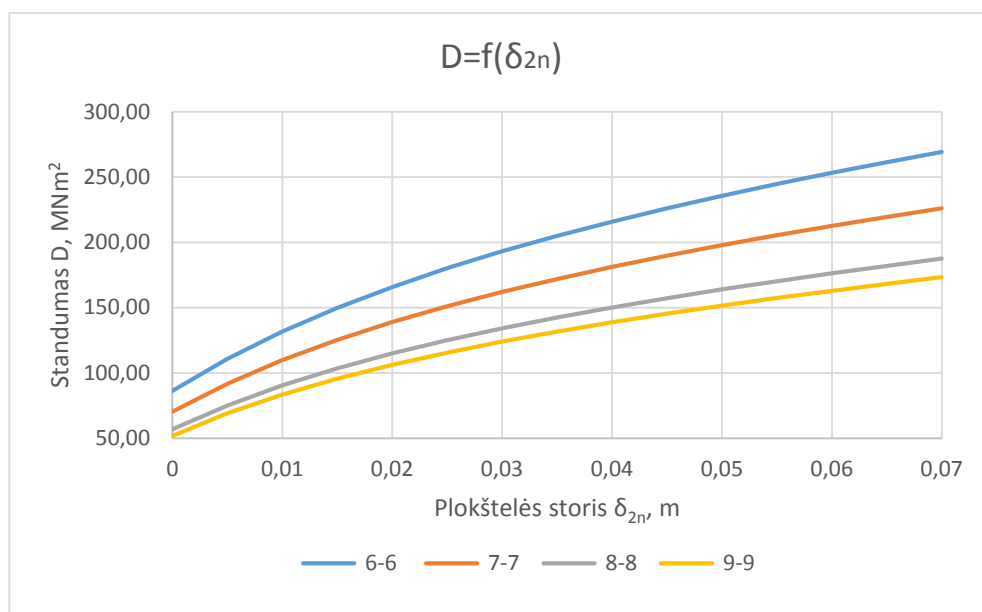
3. ARKOS STIPRUMO ANALITINIS TYRIMAS

Remiantis įtempių rezultatais, norint gauti tolygų įtempių pasiskirstymą, sijoje parenkamas didžiausias ribinių įtempių būvis artimas 7 MPa (konstrukcijos elemento pjūviuose įtempių aritmetinis vidurtis artimas 8 MPa, 2 ir 3 jūviuose jis yra 7 MPa, priimame didžiausią ribinių įtempių būvį, neviršijantį 7 MPa). Tuo tikslu stiprinami pjūviai 6, 7, 8, 9. Tiriamas sijos standumas lenkimui, stiprumas bei sustiprintos arkos galios skaičiavimas, kai sija stiprinama plieno plokštele tvirtinant ją apačioje ir šonuose.

3.1. Standumo lenkimui tyrimas

3.1.1. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas iš apačios

Pagal arkos stiprumo tyrimą, nustatėme, kad konstrukcijos elemento (pusarkės) pavojingiausi pjūviai 6, 7, 8, 9. Konstrukcijos elementas stiprinamas plieno plokštele, kurios storis δ_2 kintamas dydis – plokštelė storinama kas 5 mm, intervalu 0 iki 70 mm. Konstrukcijos elemento medinės dalies δ_1 aukštis pjūviuose – kintamas dydis.



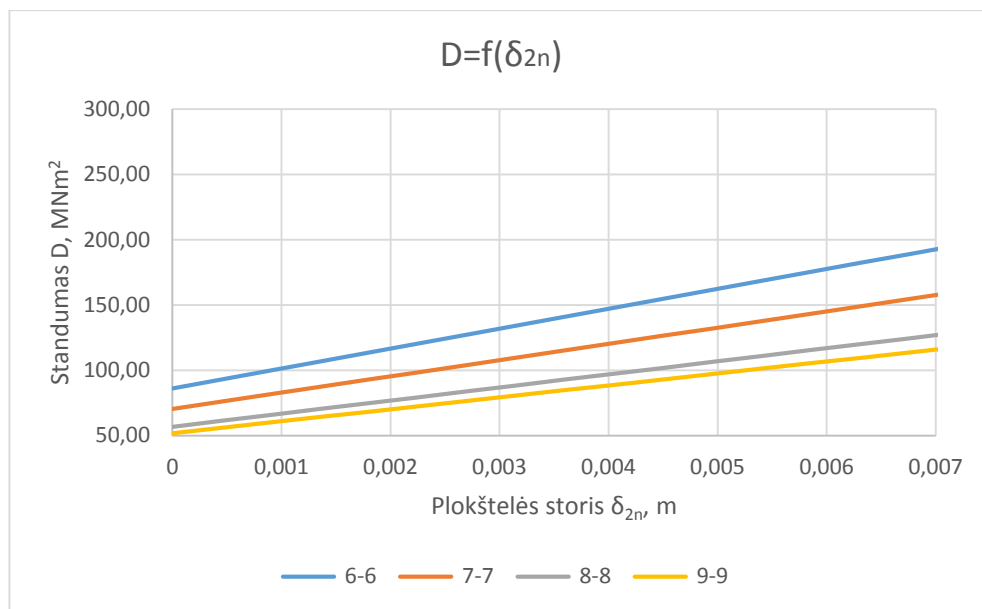
3.1 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama plokštelė tvirtinama iš apačios

Daugiasluoksnės pusarkės standumas lenkiant didėja, didėjant išorinio plieno plokštelės storiui. Žemiausia kreivė (geltona) yra gauta pjūviui 9, kai pusarkės medinės dalies aukštis yra 0,65

m, o aukščiausia kreivė (mėlyna) yra gauta pjūviui 6, kai pusarkės medinės dalies aukštis yra 0,77 m.

3.1.2. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas šonuose

Pagal arkos stiprumo tyrimą, nustatėme, kad konstrukcijos elemento pavojingiausi pjūviai 6, 7, 8, 9. Konstrukcijos elementas stiprinamas vienodų parametrų plieno plokštelėmis, kurios storis b_2 , parinkta taip, kad dvikomponentių konstrukcijų pjūvių plotas yra vienodas, kai konstrukcijos elementas stiprinamas plokštele iš apačios ir kai stiprinamas šonuose.



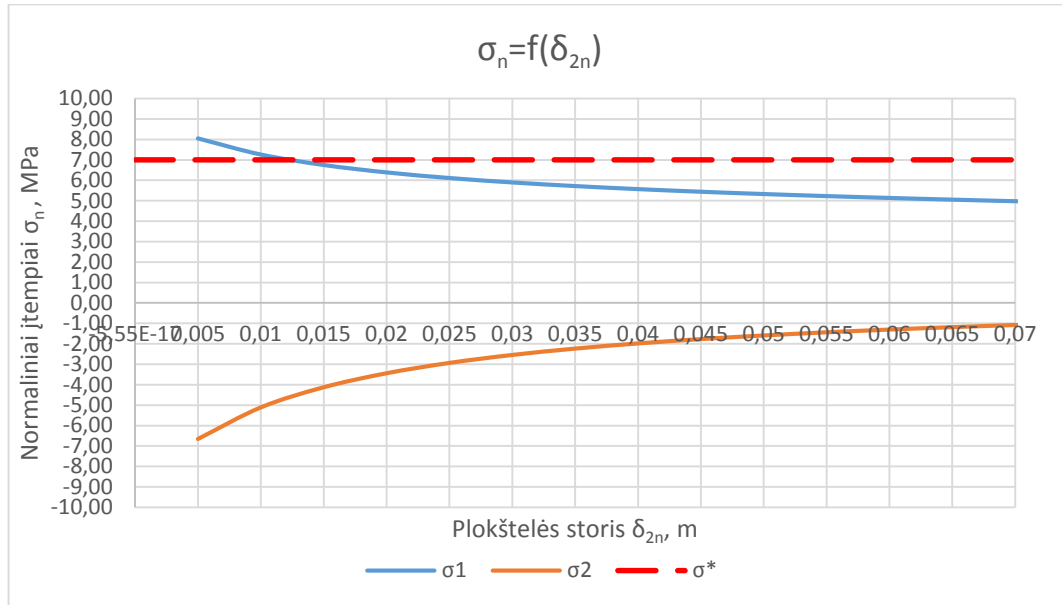
3.2 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose

Daugiasluoksnės pusarkės standumas lenkiant didėja, didėjant išorinio plieno plokštelės storiui. Žemiausia kreivė (geltona) yra gauta pjūviui 9, kai pusarkės medinės dalies aukštis yra 0,65 m, o aukščiausia kreivė (mėlyna) yra gauta pjūviui 6, kai pusarkės medinės dalies aukštis yra 0,77 m.

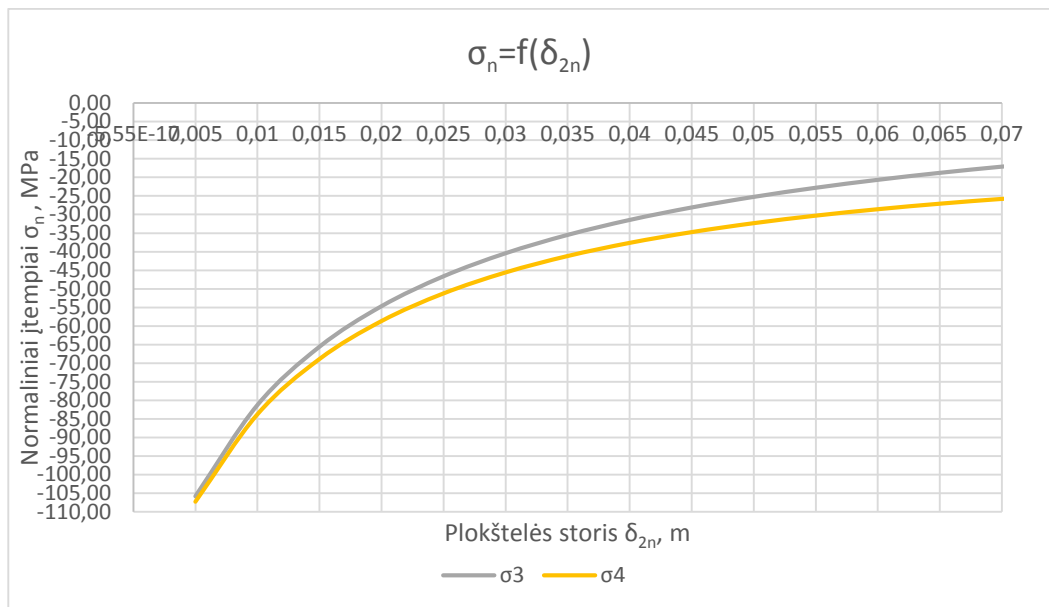
Lyginant vienodo dvikomponentės pusarkės pjūvio ploto, kai plokštelė tvirtinama iš apačios ir kai plokštelė tvirtinama iš šonų, rezultatus matyti, kad pusarkės, kai plokštelė tvirtinama iš apačios standumas lenkiant yra didesnis. Aukščiausios kreivės (pjūvis 6), tvirtinant plokštelę iš apačios, kurios storis $\delta_2 = 0,07$ m, standumas $D=269,27$ MPa, išlaikant tą patį pjūvio plotą, šonuose tvirtinamų plokštelių storiai $\delta_2 = 0,0063$ m, standumas $D=182,16$ MPa.

3.2. Stiprumo tyrimas

3.2.1. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas iš apačios

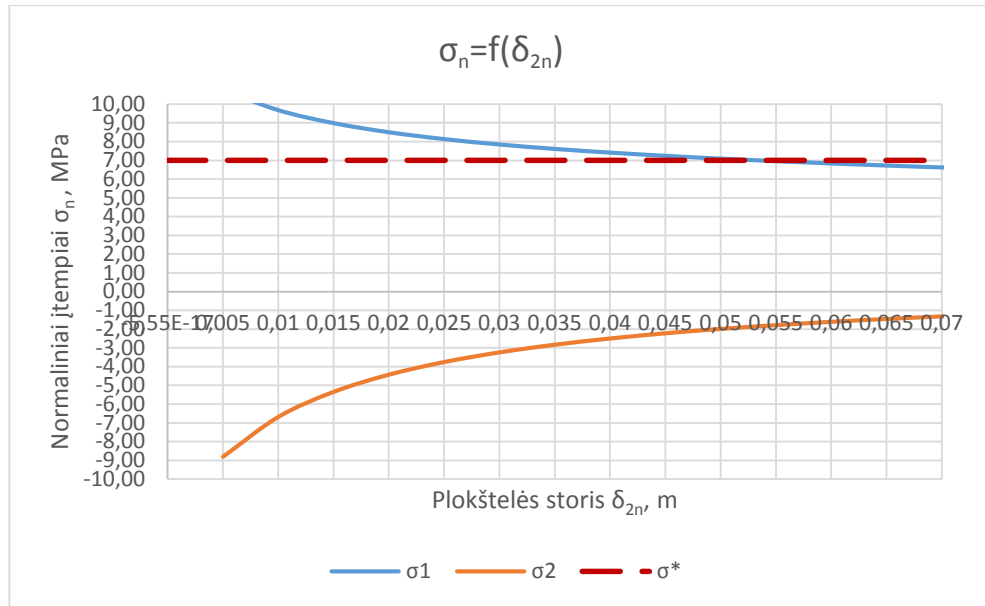


3.3 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Medis, pjūvis 6

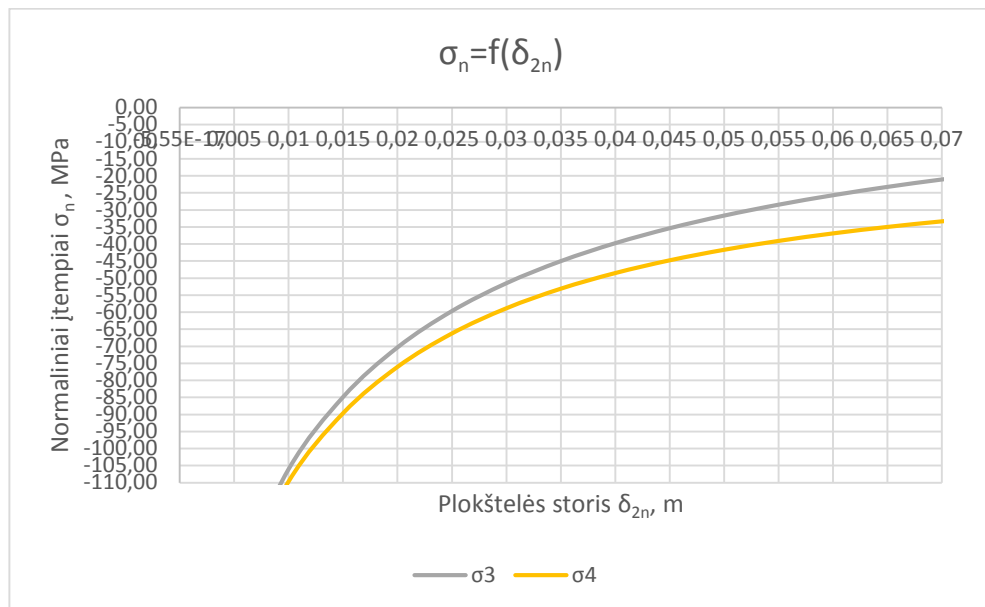


3.4 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Plienas, pjūvis 6

Daugiasluoknės sijos medinės dalies įtempiai σ_1 , didinant stiprinamosios plieno plokštelės storį, mažėja. Pjūvyje 6 įtempiai artimi 7 MPa, kai sija stiprinama apačioje 0,015 m plieno plokštele.

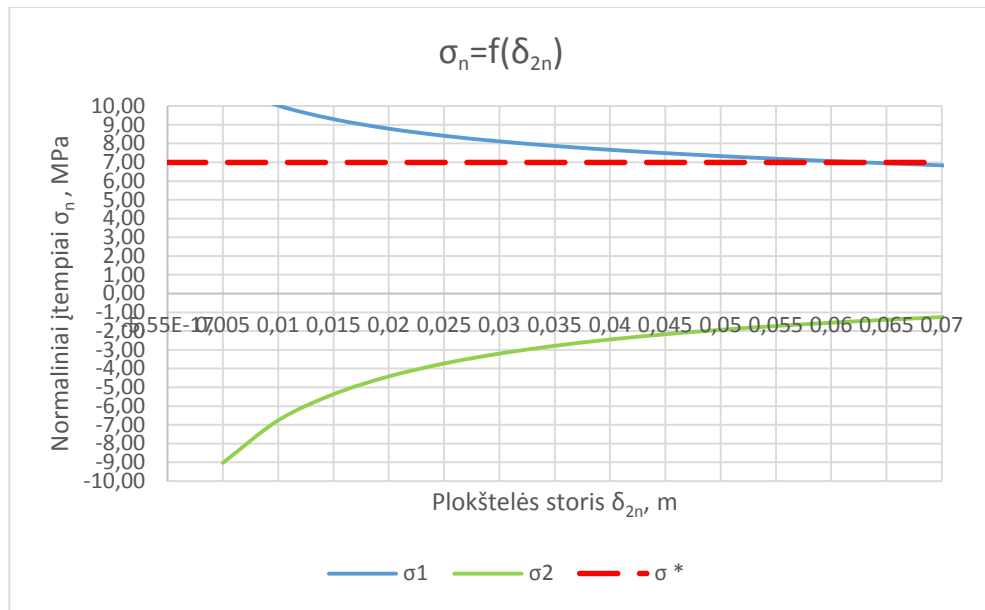


3.5 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Medis, pjūvis 7

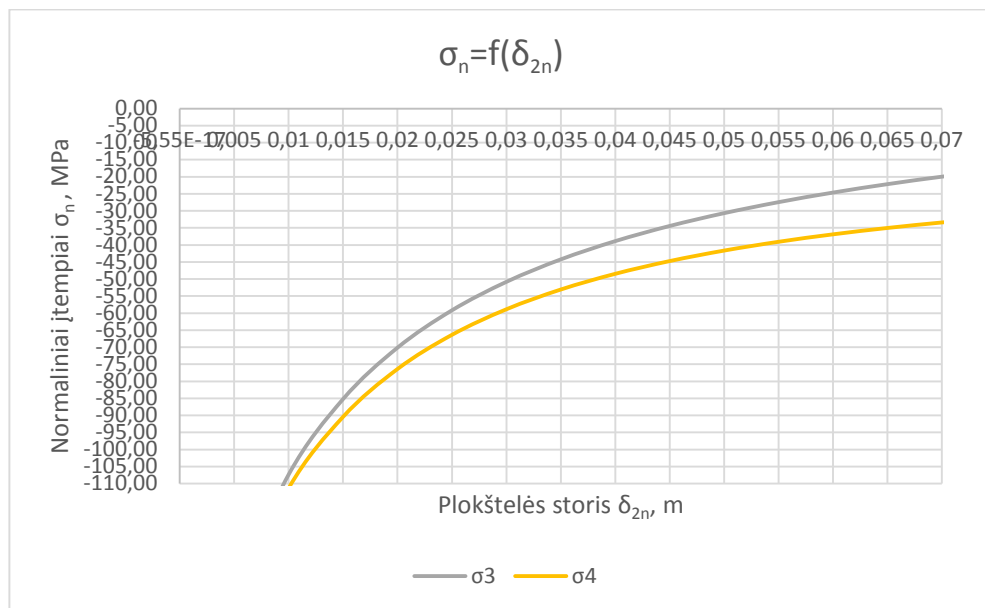


3.6 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Plienas, pjūvis 7

Pjūvyje 7 įtempiai artimi 7 MPa, kai sija stiprinama apačioje 0,055 m plieno plokštele.

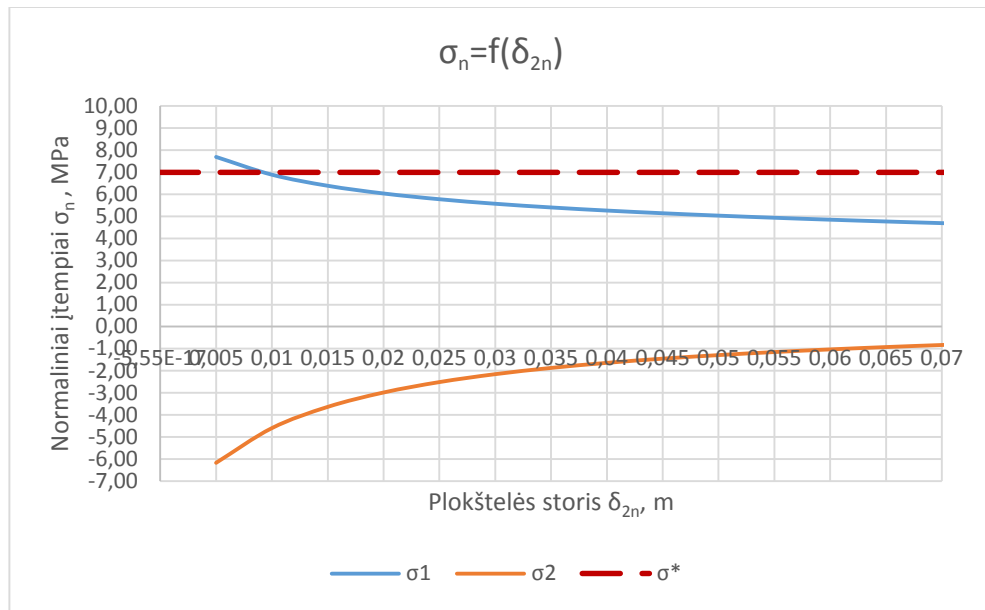


3.7 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Medis, pjūvis 8

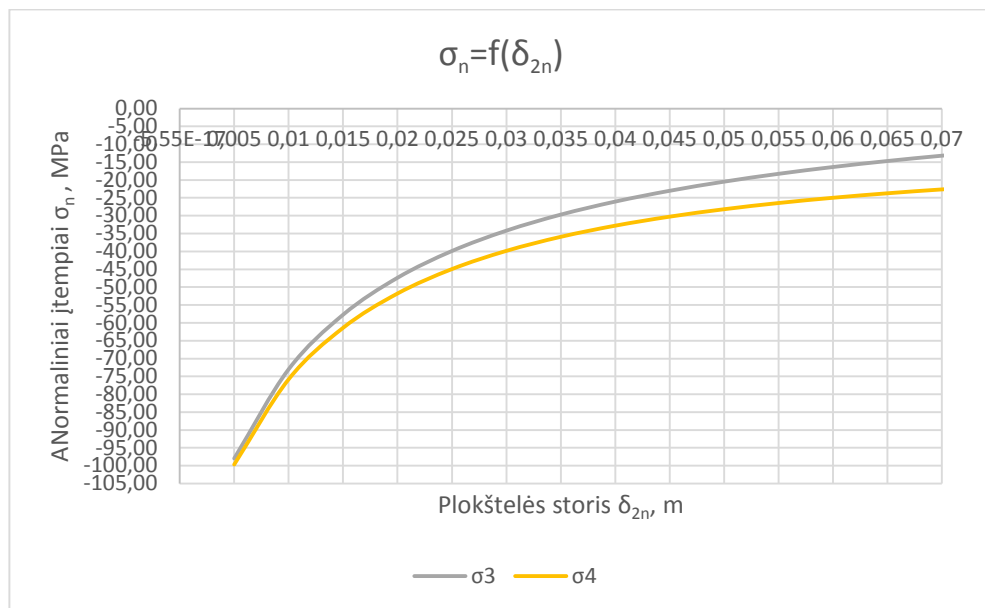


3.8 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Plienas, pjūvis 8

Pjūvyje 8 įtempiai artimi 7 MPa, kai sija stiprinama apačioje 0,065 m plieno plokšte



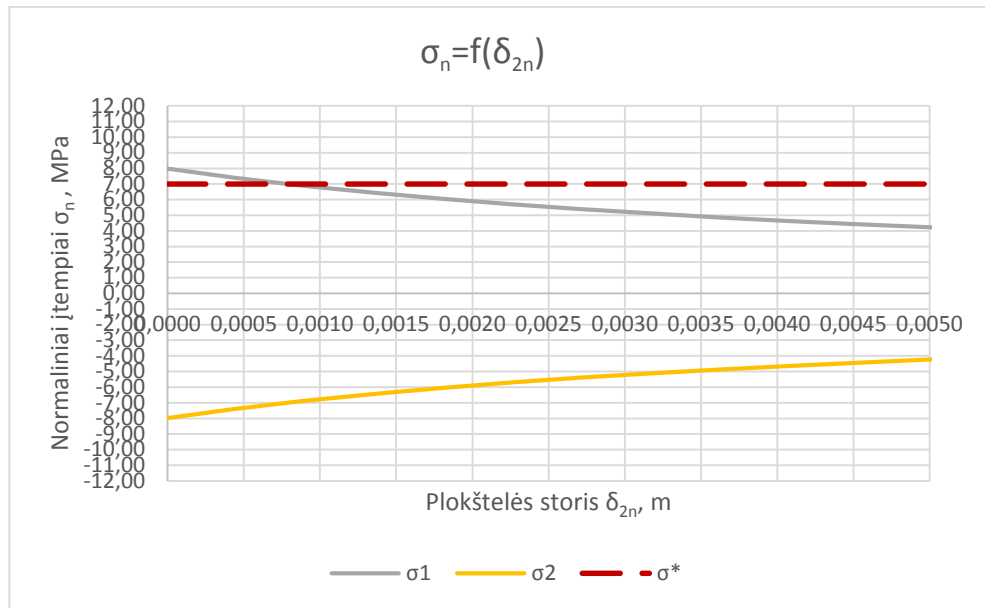
3.9 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Medis, pjūvis 9



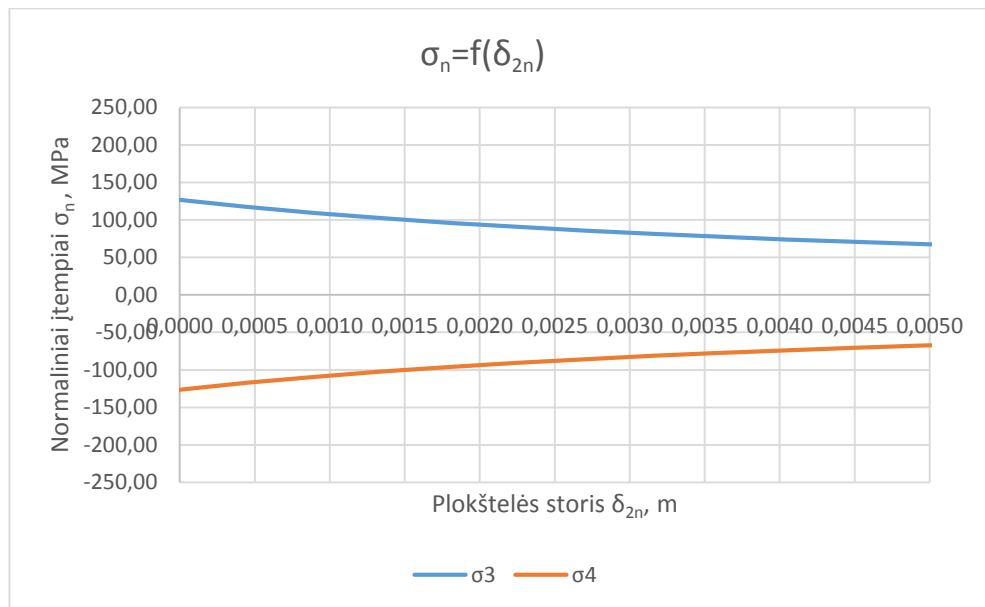
3.10 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama iš apačios. Plienas, pjūvis 9

Pjūvyje 9 įtempiai artimi 7 MPa, kai sija stiprinama apačioje 0,01 m plieno plokštele.

3.2.2. Kai konstrukcijos elementas stiprinamas šonuose

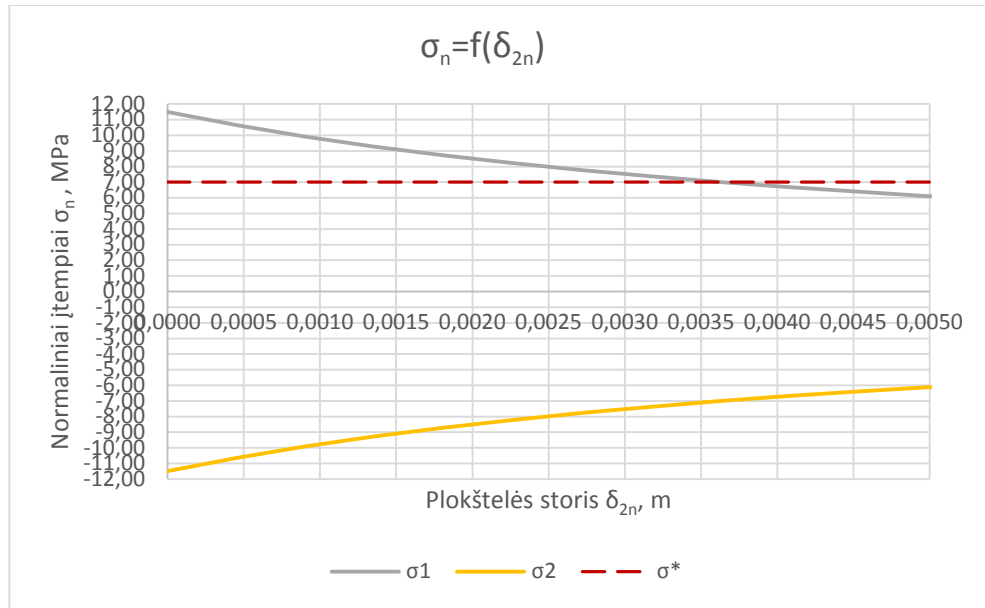


3.11 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Medis, pjūvis 6

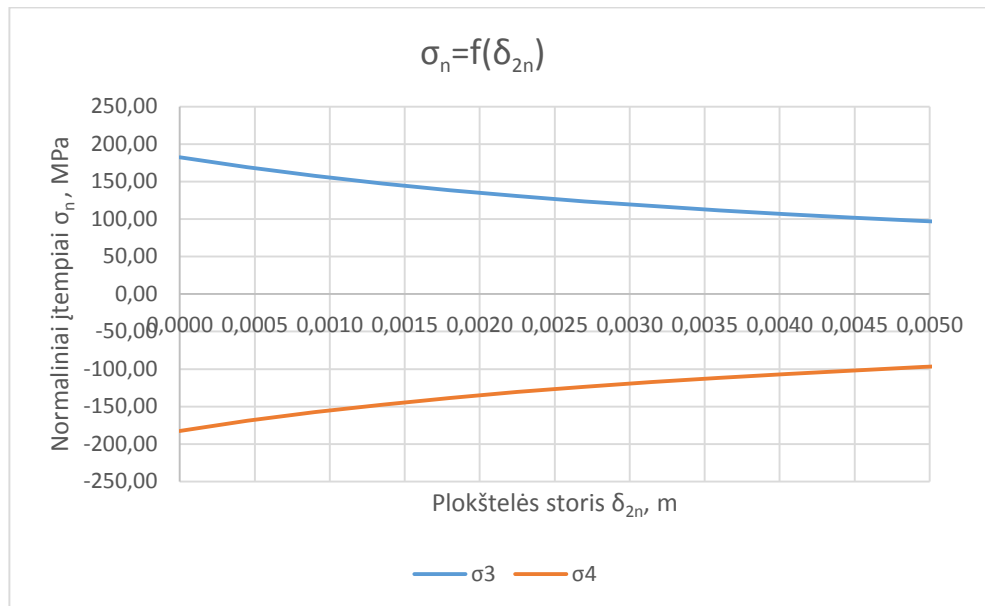


3.12 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Plienas, pjūvis 6

Pjūvyje 6 įtempiai artimi 7 MPa, kai sija stiprinama šonuose 0,0009 m storio plieno plokštelėmis.

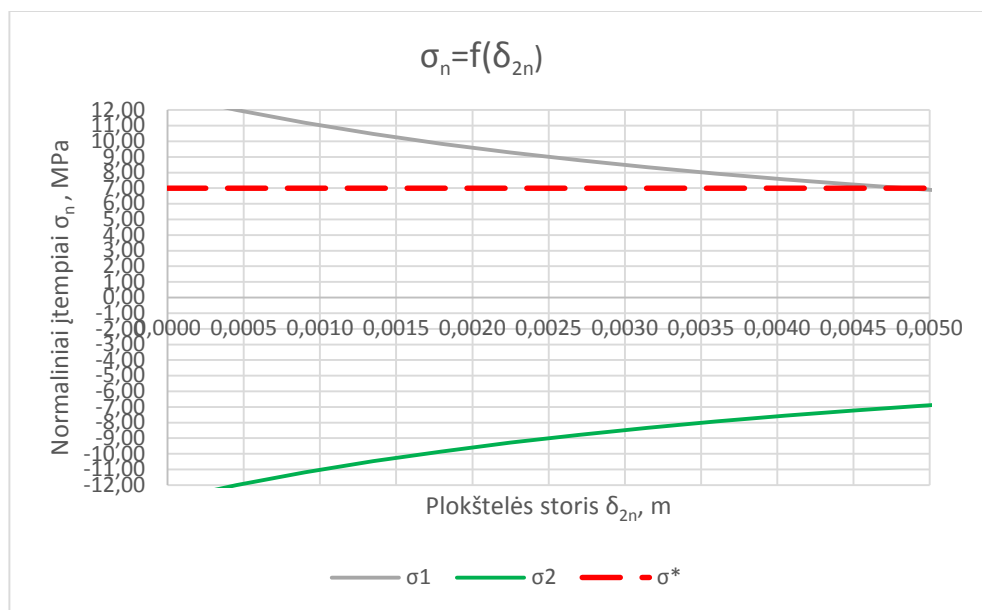


3.13 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Medis, pjūvis 7

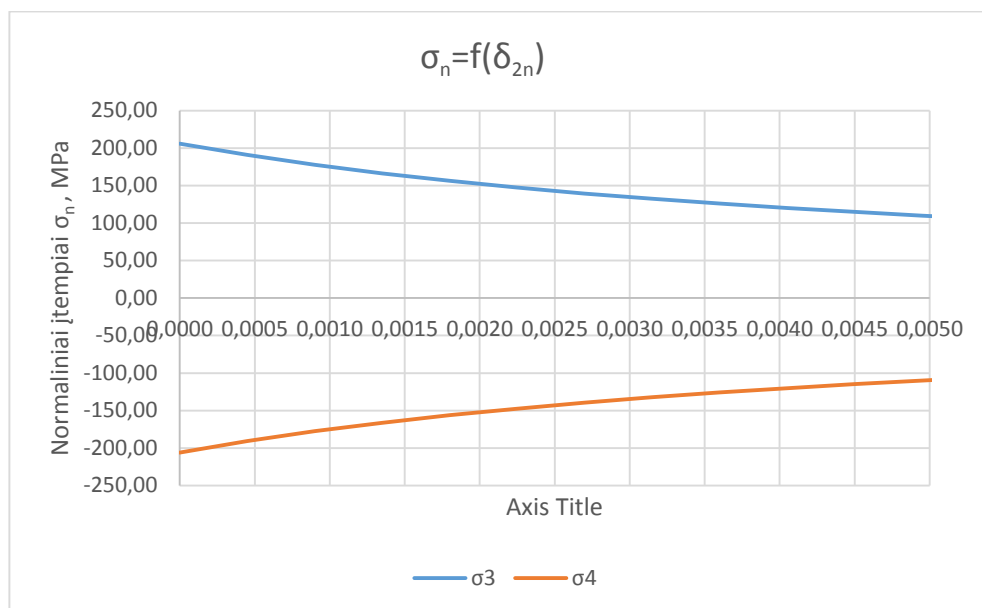


3.14 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Plienas, pjūvis 7

Pjūvyje 7 įtempiai artimi 7 MPa, kai sija stiprinama šonuose 0,0041 m storio plieno plokštelėmis.

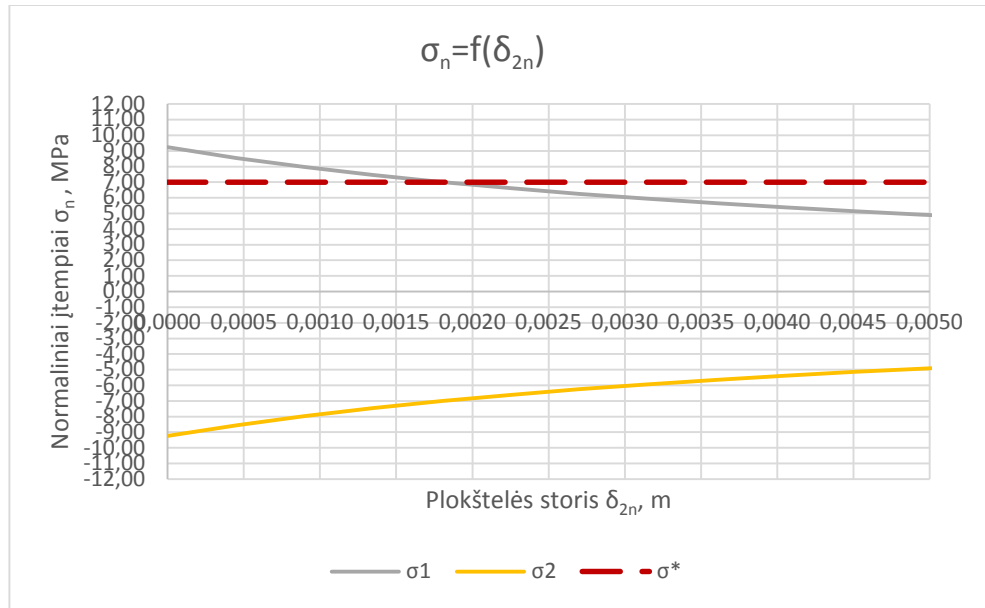


3.15 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Medis, pjūvis 8

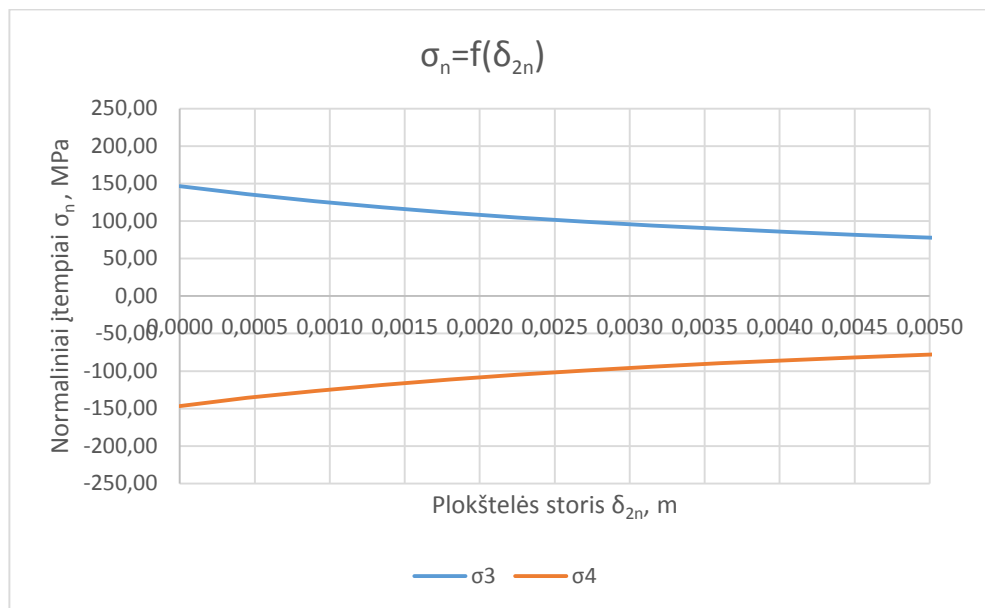


3.16 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Plienas, pjūvis 8

Pjūvyje 8 įtempiai artimi 7 MPa, kai sija stiprinama šonuose 0,005 m storio plieno plokštelėmis.



3.17 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Medis, pjūvis 9



3.18 pav. Įtempių priklausomybė nuo plokštelės storio, kai stiprinama šonuose. Plienas, pjūvis 9

Pjūvyje 9 įtempiai artimi 7 MPa, kai sija stiprinama šonuose 0,0023 m storio plieno plokštelėmis.

3.2.3. Rezultatai

Reikalingas plieno plokštelės storis δ_2 , norint pasiekti normalinius įtempimus, artimus 7 MPa pjūviuose 6, 7, 8, 9, kai konstrukcijos elementas stiprinamas apačioje ir šonuose, pateiktas 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Stiprinamosios medžiagos storis, kai stiprinama apačioje ir kai stiprinama šonuose

Pjūvis	M, MNm	$\sigma(\text{fakt},i)$, MPa	Konstrukcijos elemento stiprinimas plieno plokštele					
			Stiprinama iš apačios			Stiprinama iš šono		
			δ_2, m	σ_1, MPa	D	δ_2, m	σ_1, MPa	D, MNm ²
1	-0,006	3	0	3		0	3	
2	-0,160	7	0	7		0	7	
3	-0,204	7	0	7		0	7	
4	-0,027	2	0	2		0	2	
5	0,099	6	0	6		0	6	
6	0,168	11	0,015	6,75	149,837	0,0009	6,88	99,981
7	0,198	15	0,055	6,95	205,419	0,0041	6,71	120,932
8	0,180	16	0,065	6,95	182,094	0,005	6,93	106,470
9	0,113	11	0,01	6,86	83,417	0,0023	6,61	72,501
10	0,000	2	0	2		0	2	

3.2.4. Sunaudotos stiprinamosios medžiagos poreikis

Apskaičiuojamas plieninės plokštelės poreikis, kai konstrukcijos elementas stiprinamas iš apačios ir kai stiprinamas šonuose:

- Kai plokštelė tvirtinama apačioje, reikiamas plokštelės kiekis $V = 0,0367 \text{ m}^3$.

3.2 lentelė. Sunaudojamos plieninės plokštelės poreikis, kai tvirtinama apačioje

Pjūvis	δ_2, m	Plotis b, m	Lanko ilgis, m	Tūris V, m ³
6	0,015	0,18	1,62	0,0044
7	0,055	0,18	1,454	0,0144
8	0,065	0,18	1,335	0,0156
9	0,01	0,18	1,298	0,0023
Iš viso:				0,0367

- Kai plokštelė tvirtinama šonuose, reikiamas plokštelės kiekis $V = 0,0243 \text{ m}^3$.

3.3 lentelė. Sunaudojamos plieninės plokštelės poreikis, kai tvirtinama šonuose

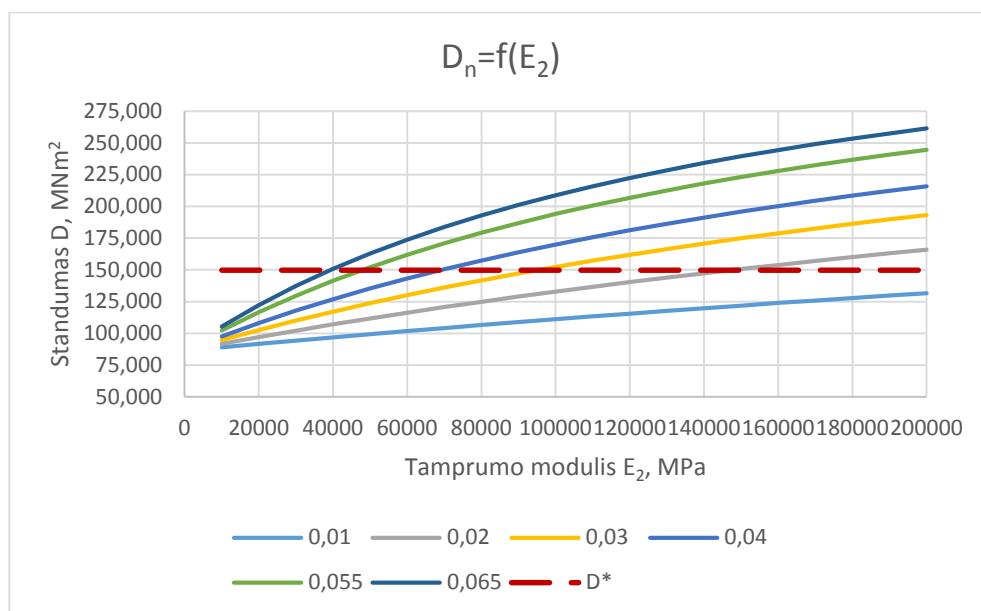
Pjūvis	δ_2, m	Dengiamas plotas m^2	Dengiamas plotas iš šonų	Tūris V, m^3
6	0,0009	1,21	2,42	0,0022
7	0,0041	0,993	1,986	0,0081
8	0,005	0,992	1,984	0,0099
9	0,0023	0,88	1,76	0,0040
Iš viso:				0,0243

Tvirtinant plokštelės šonuose, jų poreikis 1,51 karto mažesnis, nei tvirtinant apačioje.

3.3. Tamprumo modulio įtaka stiprumui ir standumui

Stipinamoji konstrukcijos elemento medžiaga gali būti ne tik plieno plokštelė, tačiau ir kiti įvairūs kompozitai, kaip stiklaplastikas, angliaplastikas ir kt. Tiriamo alternatyvių galimų medžiagų panaudojimą, parenkant galimą stiprinamosios medžiagos storį skirtinguose pjūviuose.

3.3.1. Tamprumo modulio įtaka standumui kai stiprinama iš apačios

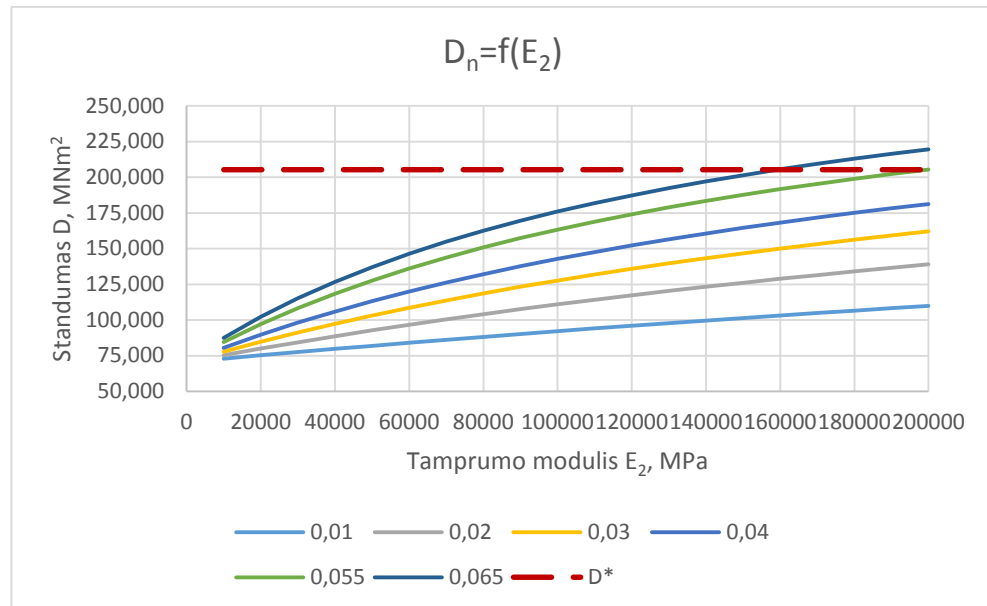


3.19 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama iš apačios, pjūvis 6

Pjūvyje 6 pakankamas konstrukcijos elemento standumas, kai elementas stiprinamas 0,02 m storio plokšte, kurios tamprumo modulis $E \geq 140$ GPa; 0,03 m storio – tamprumo modulis E

≥ 90 GPa; 0,04 m storio – tamprumo modulis $E \geq 70$ GPa; 0,055 m storio – tamprumo modulis $E \geq 50$ GPa; 0,065 m – tamprumo modulis $E \geq 40$ GPa.

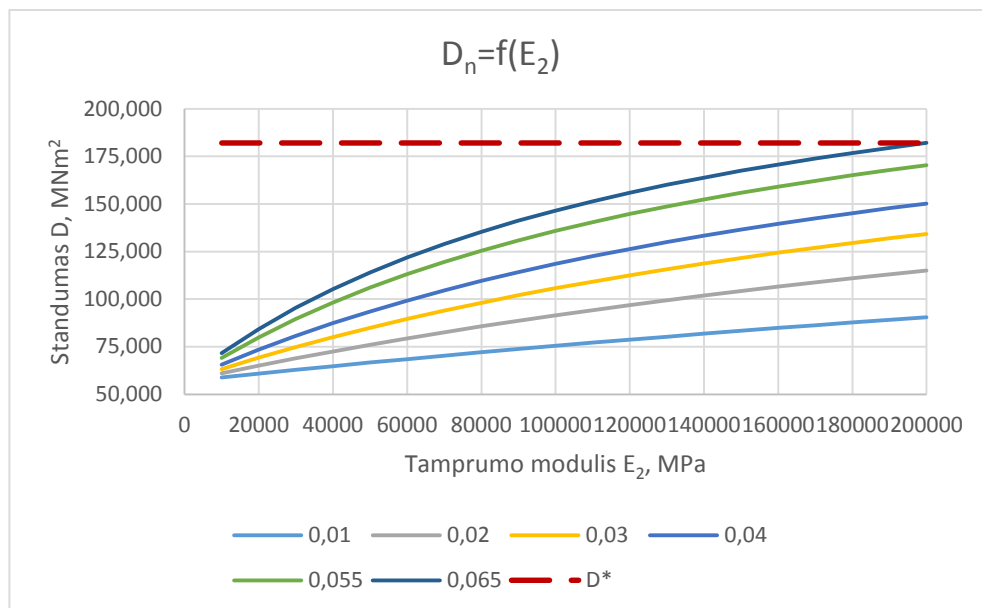
Stiprinant 0,01 m storio plieno plokštele, turinčią apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, standumas yra nepakankamas.



3.20 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 7

Pjūvyje 7 pakankamas konstrukcijos elemento standumas, kai elementas stiprinamas 0,055 m storio plokštele, kurios tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,065 m – tamprumo modulis $E \geq 160$ GPa.

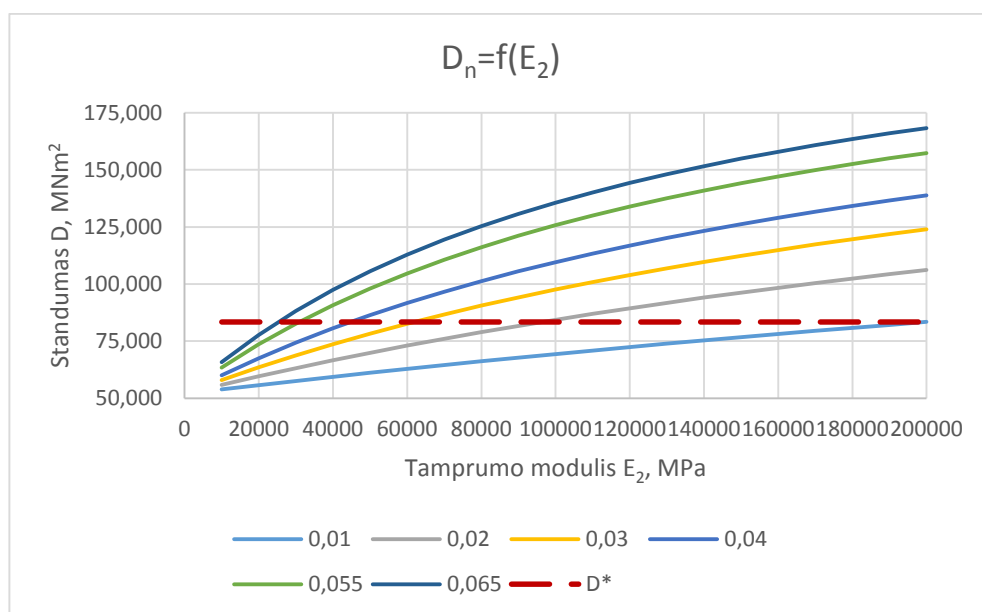
Stiprinant konstrukciją 0,01, 0,02, 0,03, 0,04 m storio plokštele, turinčią apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, standumas yra nepakankamas.



3.21 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 8

Pjūvyje 8 pakankamas konstrukcijos elemento standumas, kai elementas stiprinamas 0,065 m storio plokštele, kurios tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa.

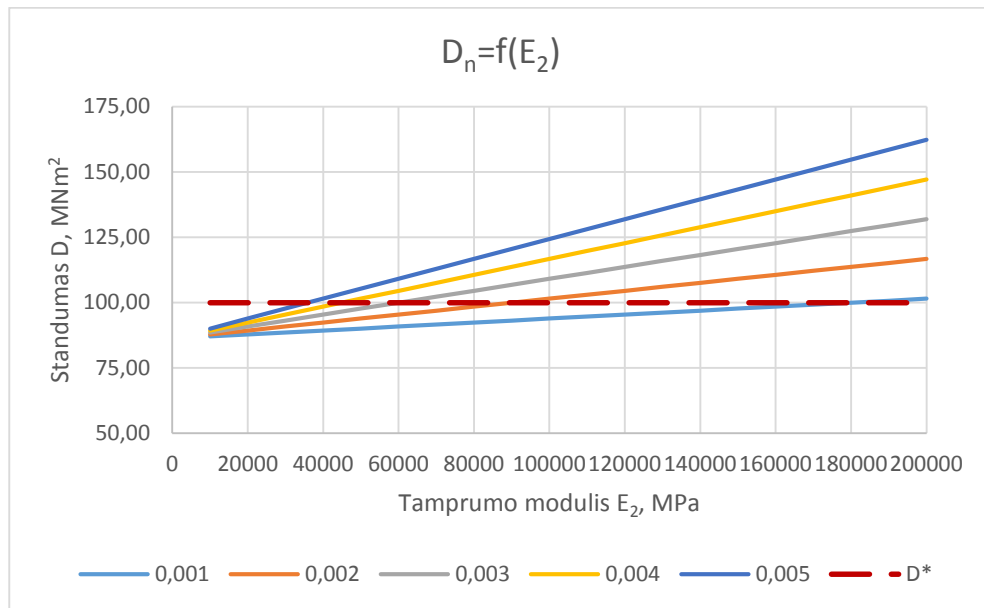
Stiprinant konstrukciją 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,055 m storio plokštele, turinčią apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, standumas yra nepakankamas.



3.22 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 9

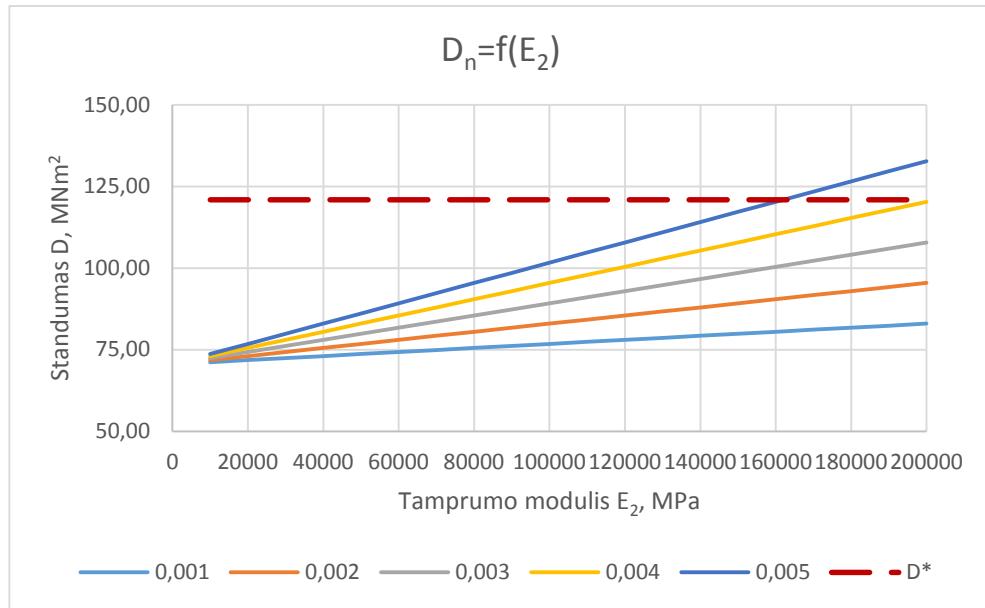
Pjūvyje 9 pakankamas konstrukcijos elemento standumas, kai elementas stiprinamas 0,01 m storio plokšte, kurios tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,02 m storio – tamprumo modulis $E \geq 100$ GPa; 0,03 m storio – tamprumo modulis $E \geq 60$ GPa; 0,055 m storio – tamprumo modulis $E \geq 30$ GPa; 0,065 m – tamprumo modulis $E \geq 25$ GPa.

3.3.2. Tamprumo modulio įtaka standumui kai stiprinama šonuose



3.23 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 6

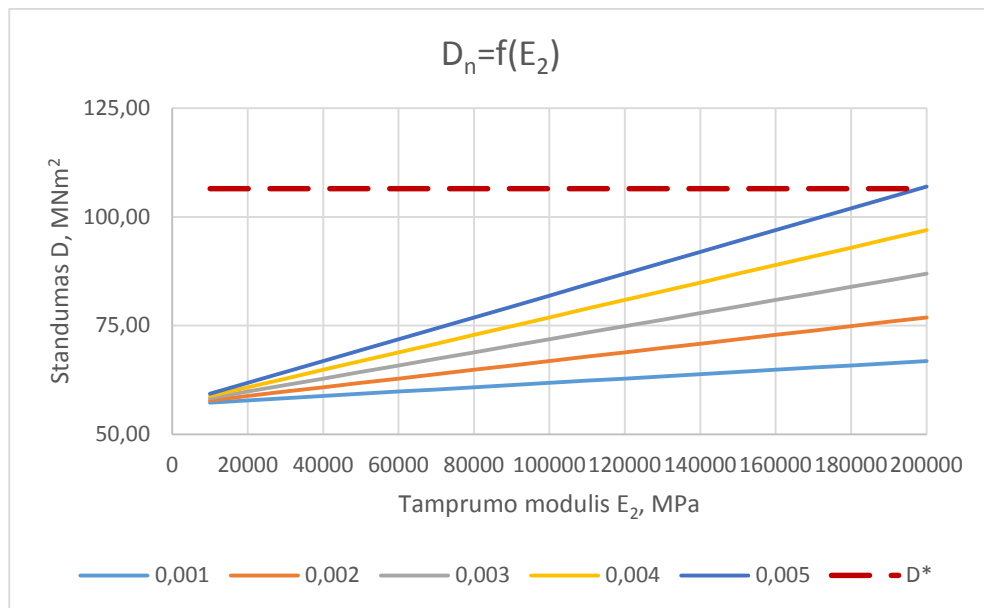
Pjūvyje 6 pakankamas konstrukcijos elemento standumas, kai elementas stiprinamas 0,001 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,002 m storio – tamprumo modulis $E \geq 90$ GPa; 0,003 m storio – tamprumo modulis $E \geq 60$ GPa; 0,004 m storio – tamprumo modulis $E \geq 40$ GPa; 0,005 m storio – tamprumo modulis $E \geq 35$ GPa.



3.24 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 7

Pjūvyje 7 pakankamas konstrukcijos elemento standumas, kai elementas stiprinamas 0,004 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,005 m storio – tamprumo modulis $E \geq 160$ GPa.

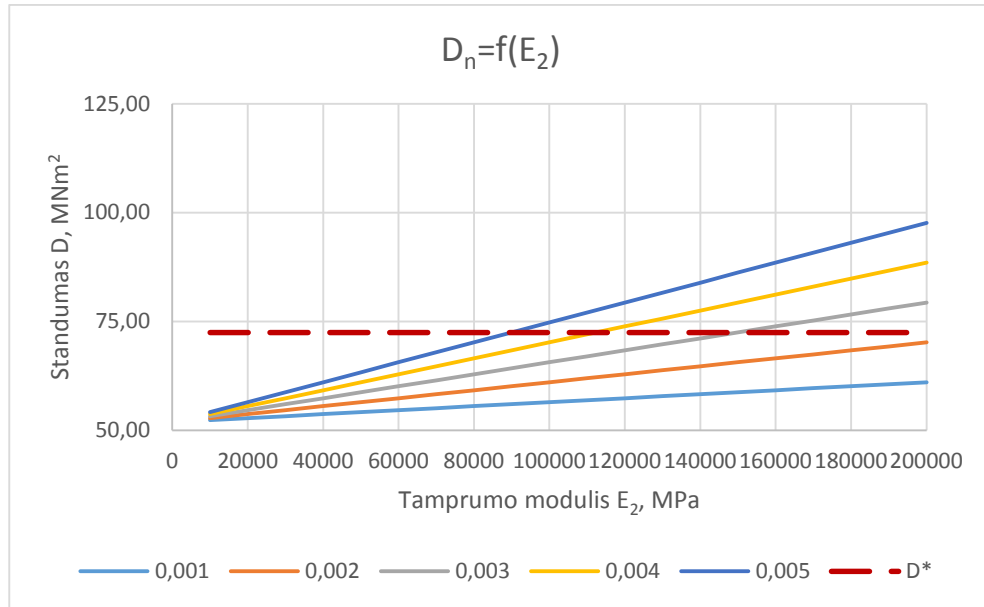
Stiprinant konstrukciją 0,001, 0,002, 0,003 m storio plokštelėmis, turinčias apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, standumas yra nepakankamas.



3.25 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 8

Pjūvyje 8 pakankamas konstrukcijos elemento standumas, kai elementas stiprinamas 0,005 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa.

Stiprinant konstrukciją 0,001, 0,002, 0,003, 0,004 m storio plokštelėmis, turinčias apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, standumas yra nepakankamas.

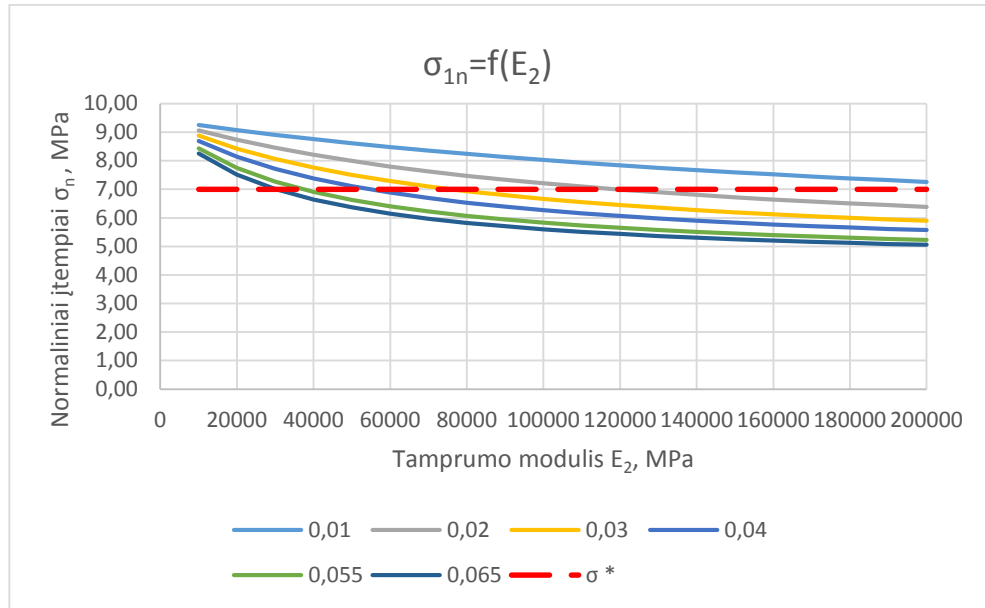


3.26 pav. Standumo lenkiant priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 9

Pjūvyje 9 pakankamas konstrukcijos elemento standumas, kai elementas stiprinamas 0,002 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,003 m storio – tamprumo modulis $E \geq 150$ GPa; 0,004 m storio – tamprumo modulis $E \geq 110$ GPa; 0,005 m storio – tamprumo modulis $E \geq 90$ GPa;

Stiprinant konstrukciją 0,001 m storio plokštelėmis, turinčias apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, standumas yra nepakankamas.

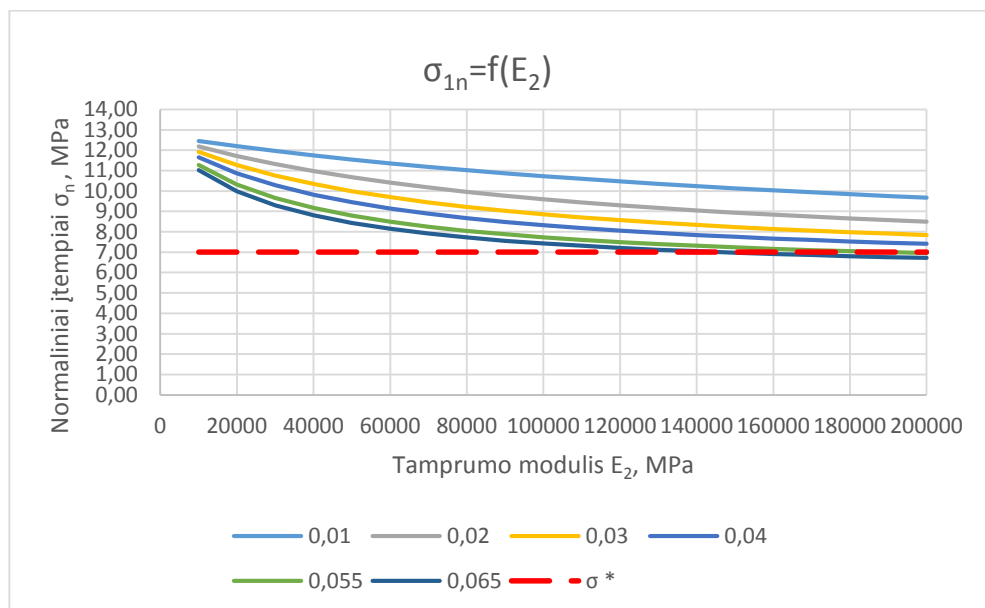
3.3.3. Tamprumo modulio įtaka stiprumui kai stiprinama iš apačios



3.27 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 6

Pjūvyje 6 pakankamas konstrukcijos elemento stiprumas, kai elementas stiprinamas 0,02 m storio plokšte, kurios tamprumo modulis $E \geq 120$ GPa; 0,03 m storio – tamprumo modulis $E \geq 80$ GPa; 0,04 m storio – tamprumo modulis $E \geq 50$ GPa; 0,055 m storio – tamprumo modulis $E \geq 38$ GPa; 0,065 m – tamprumo modulis $E \geq 30$ GPa.

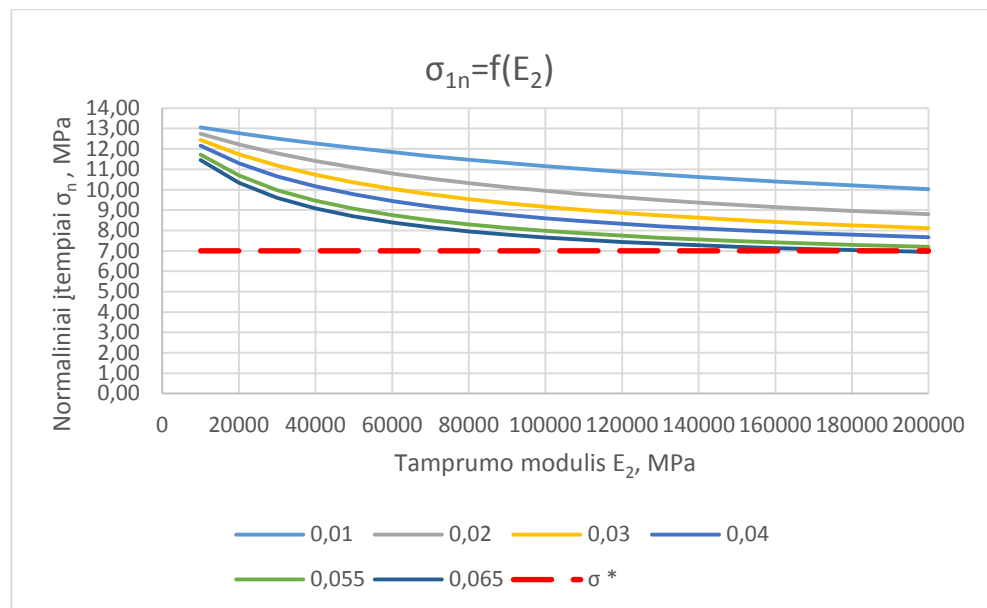
Stiprinant 0,01 m storio plieno plokšte, turinčią apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, stiprumas yra nepakankamas.



3.28 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 7

Pjūvyje 7 pakankamas konstrukcijos elemento stiprumas, kai elementas stiprinamas 0,055 m storio plokšte, kurios tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,065 m – tamprumo modulis $E \geq 150$ GPa.

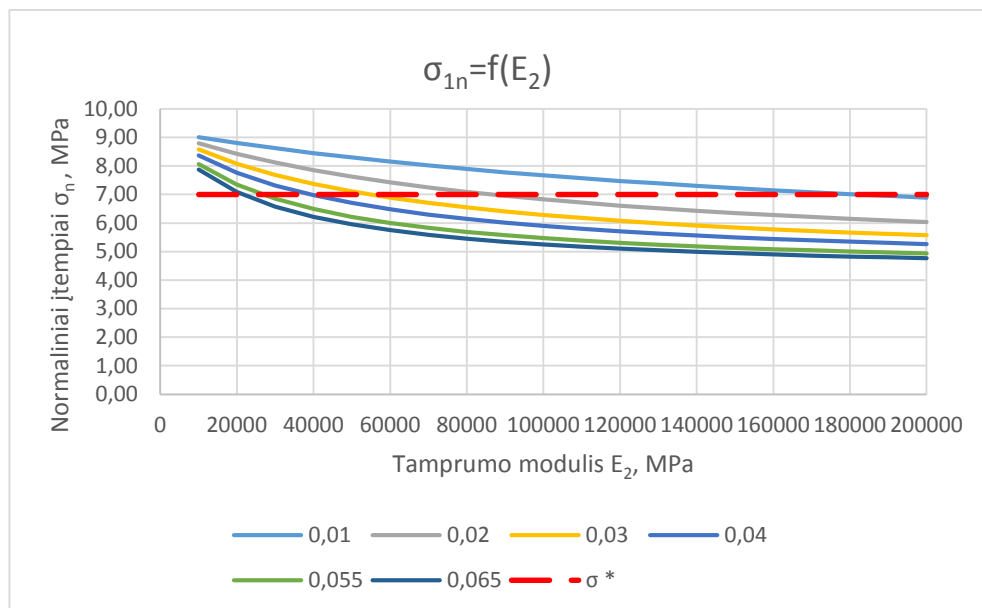
Stiprinant konstrukciją 0,01, 0,02, 0,03, 0,04 m storio plokšte, turinčią apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, stiprumas yra nepakankamas.



3.29 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 8

Pjūvyje 8 pakankamas konstrukcijos elemento stiprumas, kai elementas stiprinamas 0,065 m storio plokšte, kurios tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa.

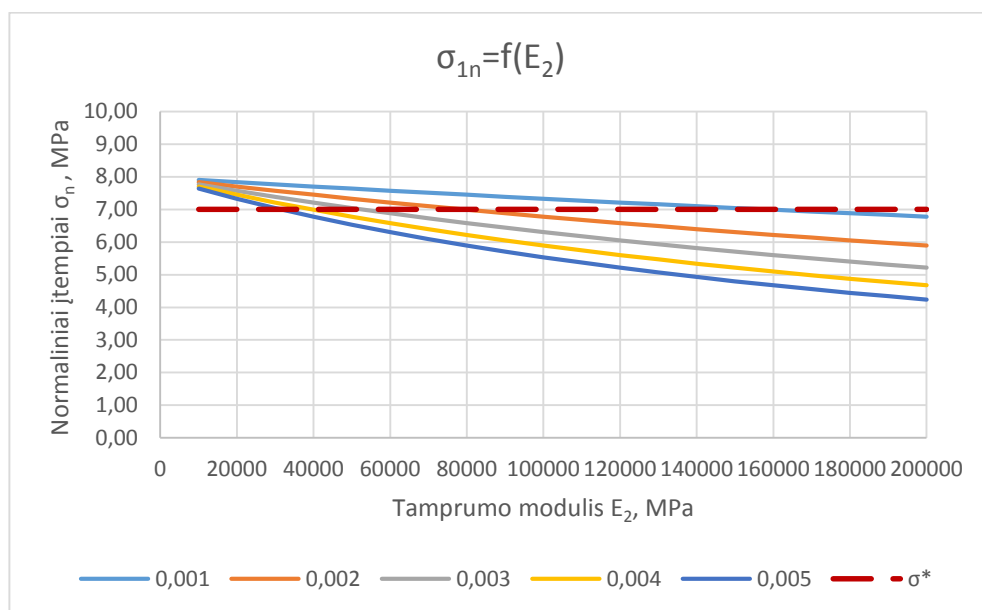
Stiprinant konstrukciją 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,055 m storio plokšte, turinčią apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, stiprumas yra nepakankamas.



3.30 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama apačioje, pjūvis 9

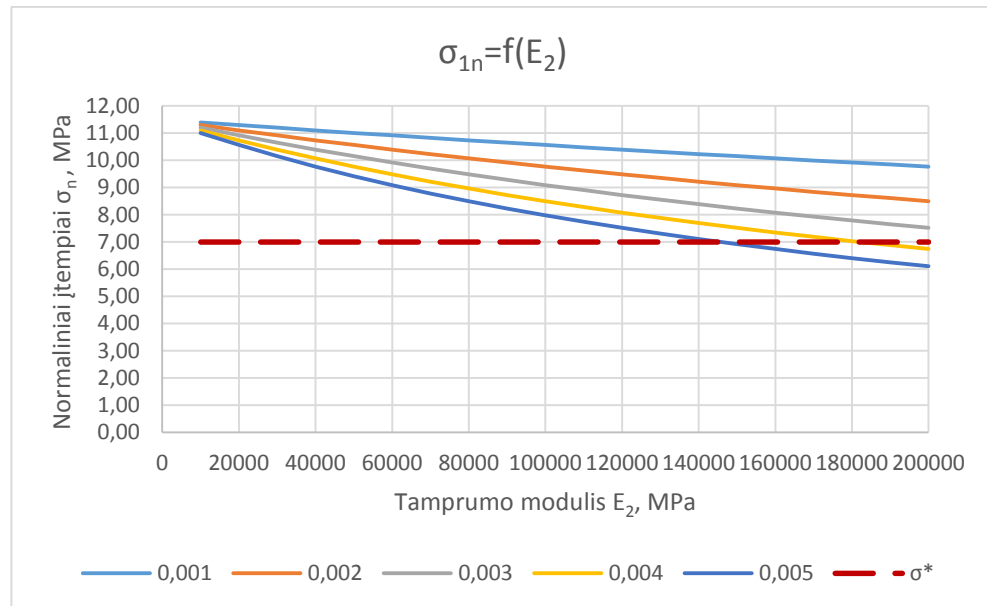
Pjūvyje 9 pakankamas konstrukcijos elemento stiprumas, kai elementas stiprinamas 0,01 m storio plokšte, kurios tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,02 m storio – tamprumo modulis $E \geq 90$ GPa; 0,03 m storio – tamprumo modulis $E \geq 50$ GPa; 0,055 m storio – tamprumo modulis $E \geq 28$ GPa; 0,065 m – tamprumo modulis $E \geq 22$ GPa.

3.3.4. Tamprumo modulio įtaka stiprumui kai stiprinama šonuose



3.31 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 6

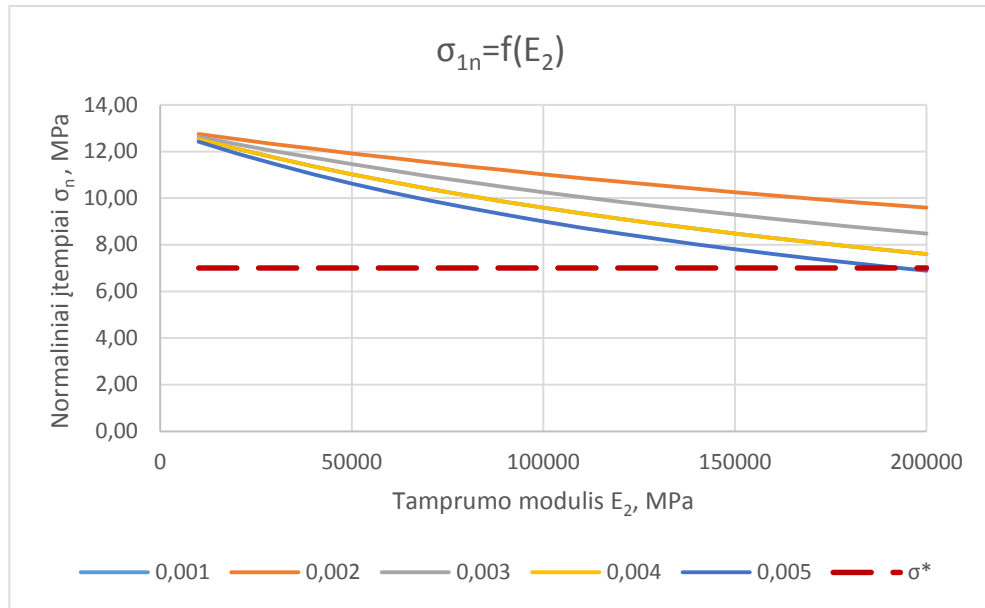
Pjūvyje 6 pakankamas konstrukcijos elemento stiprumas, kai elementas stiprinamas 0,001 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,0023 m storio – tamprumo modulis $E \geq 80$ GPa; 0,003 m storio – tamprumo modulis $E \geq 50$ GPa; 0,004 m storio – tamprumo modulis $E \geq 40$ GPa; 0,005 m storio – tamprumo modulis $E \geq 30$ GPa.



3.32 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 7

Pjūvyje 7 pakankamas konstrukcijos elemento stiprumas, kai elementas stiprinamas 0,004 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,005 m storio – tamprumo modulis $E \geq 142$ GPa.

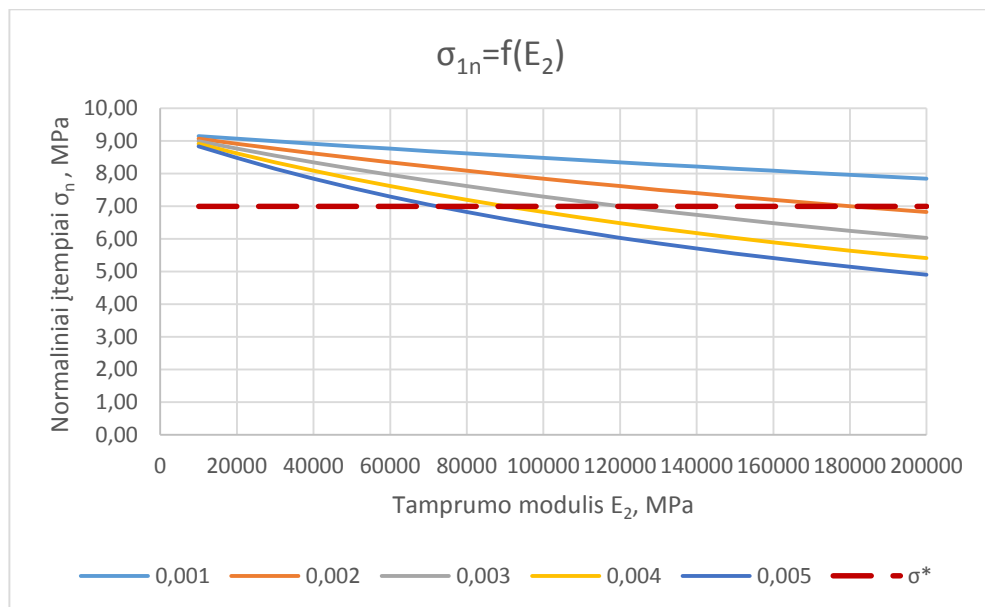
Stiprinant konstrukciją 0,001, 0,0023, 0,003 m storio plokštelėmis, turinčias apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, stiprumas yra nepakankamas.



3.33 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 8

Pjūvyje 8 pakankamas konstrukcijos elemento stiprumas, kai elementas stiprinamas 0,005 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa.

Stiprinant konstrukciją 0,001, 0,0023, 0,003, 0,004 m storio plokštelėmis, turinčias apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, stiprumas yra nepakankamas.



3.34 pav. Įtempių priklausomybė nuo tamprumo modulio, kai stiprinama šonuose, pjūvis 9

Pjūvyje 9 pakankamas konstrukcijos elemento stiprumas, kai elementas stiprinamas 0,002 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,003 m storio – tamprumo modulis $E \geq 120$ GPa; 0,004 m storio – tamprumo modulis $E \geq 90$ GPa; 0,005 m storio – tamprumo modulis $E \geq 75$ GPa.

Stiprinant konstrukciją 0,001 m storio plokštelėmis, turinčias apibrėžtą didžiausią tamprumo modulį $E=200$ GPa, stiprumas yra nepakankamas.

3.4. Sustiprintos arkos laikomosios galios skaičiavimas

Apskaičiuojama sustiprinto konstrukcijos elemento laikomoji galia (stiprinamosios medžiagos plieno plokštelės storiai pateikti 3.1 lentelėje) pjūviuose 6, 7, 8, 9, kai įtempiai didinami iki leistinų įtempių $\sigma_{(adm)}=17$ MPa. [5]

$$M^* = \frac{\sigma_{(adm)} D}{y_1 E_1} \quad (15)$$

čia $\sigma_{(adm)}$ – leistini normaliniai įtempiai; D – sijos standumas, y_1 – atstumas nuo neutralios linijos iki nagrinėjamo sluoksnio; E_1 – medžio tamprumo modulis.

Apskaičiuojamas santykis

$$n = \frac{M^*}{M} \quad (16)$$

čia M^* – sustiprintos konstrukcijos elemento momentas, M – nesustiprintos konstrukcijos elemento momentas.

3.4 lentelė. Elemento laikomosios galios padidėjimas, kai plokštelė stiprinama apačioje

Pjūvis	$\sigma_{(adm)}$, MPa	D , MNm ²	y_1 , m	E_1 , MPa	M^* , MNm	M , MNm	n
6	17	149,837	0,478	12600	0,423	0,168	2,52
7	17	205,419	0,572	12600	0,485	0,198	2,45
8	17	182,094	0,558	12600	0,440	0,180	2,45
9	17	83,417	0,39	12600	0,289	0,113	2,55

Sustiprinus konstrukcijos elementą plieno plokštele iš apačios, momentas M^* padidėja 2,45÷2,55 karto, t.y. konstrukcijos elemento (pusarkės) laikomoji galia padidėjo 2,45÷2,55 karto.

3.5 lentelė. Elemento laikomosios galios padidėjimas, kai plokštelė stiprinama šonuose

Pjūvis	$\sigma(\text{adm})$, MPa	D, MNm ²	y_1 , m	E_1 , MPa	M^* , MNm	M, MNm	n
6	17	99,981	0,325	12600	0,415	0,168	2,47
7	17	120,932	0,325	12600	0,502	0,198	2,54
8	17	106,470	0,325	12600	0,442	0,180	2,46
9	17	72,501	0,325	12600	0,301	0,113	2,66

Sustiprinus konstrukcijos elementą plieno plokštelėmis šonuose, momentas M^* padidėja $2,46 \div 2,66$ karto, t.y. konstrukcijos elemento (pusarkės) laikomoji galia padidėjo $2,46 \div 2,66$ karto.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Apskaičiavus veikiančias apkrovas, įrašas ir įtempius įvairiuose konstrukcijos pjūviuose, nustatyta, kad pavojingiausi pjūviai yra 6, 7, 8 ir 9. Atsižvelgdami į tai, kad gretimuose pjūviuose normaliniai įtempiai yra artimi 7 MPa, pavojingų pjūvių geometriją keisime taip, kad įtempiai ir juose sumažėtų iki 7 MPa.

2. Tolygų įtempių pasiskirstymą konstrukcijoje gavome naudodami plieno plokšteles, o jų tvirtinimą atlikdami iš apačios ir abiejų šonų. Nagrinėjant plieno plokštelės įtaką standumui ir stiprumui, kai plokštelė tvirtinama apačioje ir šonuose, kiekvienam pjūviui nustatyti reikalingas plokštelių storis.

3. Gauta: kai stiprinanti medžiaga plienas tvirtinama iš apačios, plokštelių storis yra toks: 6 pjūvyje – 0,015 m; 7 pjūvyje – 0,055 m; 8 pjūvyje – 0,065 m, 9 pjūvyje – 0,01 m, o kai konstrukcija stiprinama dviem plokštelėmis iš šonų: 6 pjūvyje – po 0,0009 m; 7 pjūvyje – po 0,0041 m; 8 pjūvyje – po 0,005 m; 9 pjūvyje – po 0,0023 m.

4. Stiprinant konstrukciją plieninėmis plokštelėmis šonuose, reikalingos medžiagos kiekis yra 1,51 karto mažesnis, nei tvirtinant iš apačios.

5. Išnagrinėta galimybė panaudoti ne tik plieną, bet ir kitas (alternatyvias) stiprinamąsias medžiagas, pvz., kompozitus (stikloplastikius, angliaplastikius), užtikrinant pakankamą standumą lenkiant ir stiprumą.

6. Kai konstrukcija stiprinama alternatyvią medžiagą tvirtinant iš apačios, nustatyta, kad:

- pjūvį 6 galima stiprinti 0,02 m storio plokštele, kurios tamprumo modulis $E \geq 120$ GPa; 0,03 m storio – tamprumo modulis $E \geq 80$ GPa; 0,04 m storio – tamprumo modulis $E \geq 50$ GPa; 0,055 m storio – tamprumo modulis $E \geq 38$ GPa; 0,065 m – tamprumo modulis $E \geq 30$ GPa.
- pjūvį 7 galima stiprinti 0,055 m storio plokštele, kurios tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,065 m – tamprumo modulis $E \geq 150$ GPa.
- pjūvį 8 galima stiprinti 0,065 m storio plokštele, kurios tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa.
- pjūvį 9 galima stiprinti 0,01 m storio plokštele, kurios tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,02 m storio – tamprumo modulis $E \geq 90$ GPa; 0,03 m storio – tamprumo modulis $E \geq 50$ GPa; 0,055 m storio – tamprumo modulis $E \geq 28$ GPa; 0,065 m – tamprumo modulis $E \geq 22$ GPa.

7. Kai konstrukcija stiprinama alternatyvią medžiagą tvirtinant iš šonų, nustatyta, kad:

- pjūvį 6 galima stiprinti 0,001 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,002 m storio – tamprumo modulis $E \geq 80$ GPa; 0,003 m storio – tamprumo modulis $E \geq 50$ GPa; 0,004 m storio – tamprumo modulis $E \geq 40$ GPa; 0,005 m storio – tamprumo modulis $E \geq 30$ GPa.
- pjūvį 7 galima stiprinti 0,004 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,005 m storio – tamprumo modulis $E \geq 142$ GPa.
- pjūvį 8 galima stiprinti 0,005 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa.
- pjūvį 9 galima stiprinti 0,002 m storio plokštelėmis, kurių tamprumo modulis $E \geq 200$ GPa; 0,003 m storio – tamprumo modulis $E \geq 120$ GPa; 0,004 m storio – tamprumo modulis $E \geq 90$ GPa; 0,005 m storio – tamprumo modulis $E \geq 75$ GPa.

8. Sustiprinus siją plieno plokštele iš apačios ir šonuose bei padidinus įtempius iki leistinų, sustiprinta sijos laikomoji galia padidėja 2,45 karto.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Klimavičius V. Statybinė mechanika. – Vilnius: Mintis, 1965.p. 53-81.
2. UAB „Kauno komprojektas“. Druskininkų viešosios bibliotekos pastato statyba, Darbo projektas
3. Medinių konstrukcijų projektavimas. STR 2.05.07:2005: 2005 m. vasario 10 d.
4. EN 1995 – 1 – 2: 2004 Eurocode 5 : Design of timber structures – Part 1 – 2: General – Structural fire design.
5. Bareišis J. Plastikų, kompozitų ir daugiasluoksnių konstrukcijų elementų stiprumas. – Kaunas: Technologija, 2006.p.117 – 130 .
6. Bareišis J. Daugiasluoksnių kompozicinių konstrukcinių elementų projektavimas. – Kaunas: Technologija, 1995.p. 17-24.
7. Klijuotos medienos konstrukcijos. Prieiga per internetą: <<http://juresmedis.lt/lt/produktai/klijuotos-medienos-sijos.html>> [žiūrėta 2015 – 04 – 02].
8. Darbo gidas su *Frilo.System.Next* programa. Prieiga per internetą: <<http://frilo.eu/de/service/dokumentationen.html>> [žiūrėta 2015 – 09 – 15]