

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

Ieva Sokaitė

**SLUOKSNIUOTŲ KONSTRUKCIJŲ STIPRUMO IR STANDUMO
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Dr. Nerijus Partaukas

PANEVĖŽYS, 2016

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

**SLUOKSNIUOTŲ KONSTRUKCIJŲ STIPRUMO IR STANDUMO
TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Mechanikos inžinerija (kodas 621H30001)

Vadovas

(para-as) Dr. Nerijus Partaukas
(data)

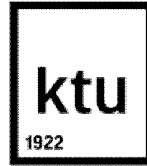
Recenzentas

(para-as)
(data)

Projektą atliko

(para-as) Ieva Sokait
(data)

PANEVĖŽYS, 2016



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

Ieva Sokaitė
Mechanikos inžinerija (kodas 621H30001)

Šluoksniuot konstrukcij stiprumo ir standumo tyrimas
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA
2016 m. birželio m. n., 2 d.
Panevėžys

Patvirtinu, kad mano, **Ieva Sokaitė**, baigiamasis projektas tema šluoksniuot konstrukcij standumo ir stiprumo tyrimas yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimo rezultatai yra teisingi ir gauti šluoksniuot. Ypač darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos citavimai tiesioginiai ir netiesioginiai citatos nurodytos literatūros nuorodose. Statymams nenumatyti piniginiai sumokėjimai – darbas niekam nesumokėtas.

Atsižįstu, kad išaiškėjus šluoksniuot faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Sokait, Ieva. Sluoksniuot konstrukcij stiprumo ir standumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Nerijus Partaukas; Kauno technologijos universitetas, Panevėžio technologijų ir verslo fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Mechanikos inžinerija

Reikšminiai rodikliai: sluoksniuota konstrukcija, anglies plastikas, stiklo plastikas, plienas, santykinis stiprumas, santykinis standumas,.

Panevėžys, 2016. 43p.

SANTRAUKA

Baigiamajame magistro projekte atliekami analitiniai, mediniai konstrukcijų, sustiprintų trijų rėmių armatūra (anglies plastikas, stiklo plastikas, plienas), santykinio standumo ir santykinio stiprumo skaičiavimai. Tempimo (gniuždymo) ir lenkimo atvejais.

Darbo sudaro: vadas, trys pagrindiniai skyriai, išvados ir literatūros sąrašas. Vade aptariama tiriamoji problema, pristatomas tiriamasis objektas, tikslai ir uždaviniai. Pirmajame skyriuje pateikiamos bendros linijos apie sluoksniuotas konstrukcijas, jų panaudojimo sritis, atliktus naujausius stiprumo ir standumo tyrimus, armatūros tipus. Antrajame skyriuje pateikiama tyrimo metodika dvisluoksnei konstrukcijai. Trečiajame skyriuje grafiškai pateikiami analitiniai skaičiavimo rezultatai. Darbo pabaigoje suformuluojamos išvados.

Sokait , Ieva. Research on Strength and Stiffness of Layered Structures. Master's final thesis / supervisor dr. Nerijus Partaukas; The Faculty of Panevėžys Technology and Business, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Mechanical Engineering

Key words: layered structures, carbon plastic, fiberglass, steel, the relative stiffness, the relative strength.

Panevėžys, 2016. 43p.

SUMMARY

The thesis presents analytical calculations of relative stiffness and the relative strength calculations of wooden structures, strengthened the three types of reinforcement (carbon plastic, fiberglass, steel) in tension (compression) and bending cases.

This thesis consists of introduction, three main chapters, conclusions and references. The introduction discusses the research problem, presents research object, goals and objectives. The first chapter provides general information about the layered structures, their field of application, the latest research strength and stiffness performed analyses, reinforcement types. The second chapter presents the research methodology in two-layer structure. The third section graphically presents the analytical results of the calculations. At the end of the conclusions are drawn.

TURINYS

LENTELIŲ SAŪKAS	7
PAVEIKSLŲ SAŪKAS	8
VADAS	10
1. SLUOKSNIUOTOS KONSTRUKCIJOS	11
1.1 Sluoksniuotų konstrukcijų klasifikavimas	11
1.2 Sluoksniuotų konstrukcijų panaudojimo sritys	12
1.3 Sluoksniuotų konstrukcijų stiprumo ir standumo tyrimų apžvalga.....	13
1.4 Armatūrų tipai.....	19
ĮVADAS	21
2. ANALITINIO TYRIMO METODIKA PASTOVAUS SKERSPĮVIO SLUOKSNIUOTOS KONSTRUKCIJOS STIPRUMUI IR STANDUMUI NUSTATYTI.....	22
2.1 Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos santykinio standumo skaičiavimas	22
2.2 Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos santykinio stiprumo skaičiavimas.....	24
2.3 Lenkiamos sluoksniuotos konstrukcijos santykinio standumo skaičiavimas.....	25
2.4 Lenkiamos sluoksniuotos konstrukcijos santykinio stiprumo skaičiavimas.....	26
3. DVISLUOKSNIS KONSTRUKCIJOS SANTYKINIO STIPRUMO IR SANTYKINIO STANDUMO TYRIMO REZULTATAI	27
3.1 Tyrimo objektas.....	27
3.2 Tempiamos dvisluoksnės konstrukcijos santykinis standumas ir santykinis stiprumas.....	28
3.3 Lenkiamos dvisluoksnės konstrukcijos santykinis standumas ir santykinis stiprumas.....	35
ĮVADAS	42
LITERATŪRA.....	43

LENTELIŲ SĄRAŠAS

3.1 lentelė. Naudojamos medienos charakteristikos, kai medienos drėgnumas 12% , ir j savikaina

3.2 lentelė. Naudojamos armatūros charakteristikos ir j savikaina

3.3 lentelė. Standumo santykis ($B_{0,5}/B_0$)

3.4 lentelė. Silpnėsnis sluoksnis dvisluoksnių konstrukcijoje

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Konstrukcijos, plienas - aliuminio putos-plienas,- lenkimo bandymas skirtingu laiku, kai plieno plokštės storis yra 3 mm, aliuminio putos storis 40 mm [3].

1.2 pav. Trijų taškų lenkimo schema [5]

1.3 pav. Trijų taškų lenkimo schema [8]

1.4 pav. Centrinio lenkimo schema ir bandinių vidinio ir išorinio sluoksnių struktūrų orientavimas [6]

1.5 pav. Analitiniai ir eksperimentiniai rezultatai, suirimo apkrovos pokytis nuo atstumo tarp atraminių taškų: a) horizontalioje padėtyje, b) vertikaliajoje padėtyje [6]

1.6 pav. Sluoksniuotųjų geometrinių parametrų ir keturių taškų lenkimo schemų, geometrinių parametrų pateikti mm [4]

1.7 pav. Sluoksniuotos kompozitinės lenkimo schema [7]

3.1 pav. Tyriama dvislauksnių konstrukcija ir jos parametrai

3.2 pav. Tempiamam sluoksniuotam konstrukcijai: a) šėglis / berflas su armatūra; b) šuošis su armatūra, standumo pokytis nuo armatūros kiekio

3.3 pav. Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šėglis su armatūra, santykinio standumo pokytis nuo armatūros kiekio

3.4 pav. Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šberflas su armatūra, santykinio standumo pokytis nuo armatūros kiekio

3.5 pav. Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šuošis su armatūra, santykinio standumo pokytis nuo armatūros kiekio

3.6 pav. Tempiamam sluoksniuotam konstrukcijai: a) šėglis su armatūra; b) šberflas su armatūra; c) šuošis su armatūra, leistinos apkrovos (stiprumo) pokytis nuo armatūros kiekio

3.7 pav. Tempiamam sluoksniuotam konstrukcijai: a) šėglis su armatūra; b) šberflas su armatūra, santykinio stiprumo pokytis nuo armatūros kiekio

3.8 pav. Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šuošis su armatūra, santykinio stiprumo pokytis nuo armatūros kiekio

3.9 pav. Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šėglis su armatūra, stiprumo ir masės santykių pokytis nuo armatūros kiekio

3.10 pav. Tempiamam sluoksniuotam konstrukcijai: a) šberflas su armatūra; b) šuošis su armatūra, stiprumo ir masės santykių pokytis nuo armatūros kiekio

3.11 pav. Lenkiamam sluoksniuotam konstrukcijai: a) šėglis / berflas su armatūra; b) šuošis su armatūra, standumo pokytis nuo armatūros kiekio

3.12 pav. Lenkiam sluoksniuot konstrukcij : a ó šegl ó armat raõ; b ó šberflas ó armat raõ
c ó šuosis ó armat raõ, santykinio standumo pokytis nuo armat ros kiekio

3.13 pav. Lenkiam sluoksniuot konstrukcij : a ó šegl ó armat raõ; b ó šberflas ó armat raõ,
leistinos apkrovos (stiprumo) pokytis nuo armat ros kiekio

3.14 pav. Lenkiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šuosis ó armat raõ, leistinos apkrovos (stiprumo)
pokytis nuo armat ros kiekio

3.15 pav. Lenkiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šegl ó armat raõ, santykinio stiprumo pokytis
nuo armat ros kiekio

3.16 pav. Lenkiam sluoksniuot konstrukcij : a ó šberflas ó armat raõ b ó šuosis ó armat raõ,
santykinio stiprumo pokytis nuo armat ros kiekio

3.17 pav. Lenkiam sluoksniuot konstrukcij : a ó šegl ó armat raõ; b ó šberflas ó armat raõ
c ó šuosis ó armat raõ, stiprumo ir mas s santyki pokytis nuo armat ros kiekio

IVADAS

Šiuolaikinėje visuomenėje formuojasi poreikis, kuo efektyviau ir pigiau panaudoti vairius išteklius. Todėl projektuojant vairias konstrukcijas siekiama užtikrinti mažiausias gamybos, transportavimo ir montavimo sąnaudas. Konstrukcijos projektavimui ypač svarbu yra tinkamas konstrukcinių medžiagų parinkimas. Vienos labiausiai pastaruoju metu naudojamų ir nagrinjamų naujų konstrukcinių medžiagų yra kompozitai ir sluoksniuotosios medžiagos [1]. Optimaliai parenkant ir tinkamai išdėstant komponentus gauta kompozicinė konstrukcija gali tenkinti daugiau eksploatacinių reikalavimų negu vienkomponeent medžiaga [2].

Projektuojant sluoksniuotas konstrukcijas būtina turėti į atitinkamas skaičiavimo metodikas, kad lengvai ir tiksliai apskaičiuoti stiprumo ir standumo charakteristikas, ir atvirkščiai, remiantis charakteristikomis, nustatyti kokios konstrukcijos jas gali tenkinti. Kadangi sluoksniuotų konstrukcijų kombinacijų gali būti vairiausi ir jų eksploatacinių lygų skirtingos, tai nėra ir universalios skaičiavimo metodikos. Todėl tyrimai, sluoksniuotų konstrukcijų stiprumo ir standumo klausimais, yra ypač aktualūs.

Darbo tikslas: ištirti tempiam (gniuždom) ir lenkiam medinių konstrukcijų, sustiprintų skirtingomis rūšių armatūra (anglies plastikas, stiklo plastikas, plienas) stiprumą, standumą ir medžiagų savikainos taktą.

Darbo uždaviniai:

- Atlikti sluoksniuotų konstrukcijų tyrimų apžvalgą, kurioje pateikiami jų stiprumo ir standumo tyrimai.
- Pateikti sluoksniuotos konstrukcijos santykinio stiprumo ir santykinio standumo skaičiavimo metodiką.
- Vertinti analitinio skaičiavimo rezultatus ir konstrukcijos masės taktą standumui ir stiprumui.

1. SLUOKSNIUOTOS KONSTRUKCIJOS

1.1 Sluoksniuotų konstrukcijų klasifikavimas

Sluoksniuotosios konstrukcijos gali būti klasifikuojamos pagal jas sudarančių sluoksnių skaičių ir simetriškumą, panaudojimo paskirtį, skerspjūvio konstrukcines savybes.

Pagal sluoksniuotą konstrukciją sudarančių sluoksnių skaičių ir simetriškumą, jas galima suskirstyti į simetriškas ir asimetriškas sluoksniuotas konstrukcijas. Simetriškos sluoksniuotos konstrukcijos pagal sluoksnių medžiagos fizines ir mechanines savybes bei to sluoksnių padėtį konstrukcijoje skirstomos į tiesiogines ir atvirkštines sluoksniuotas konstrukcijas. Tiesioginiams sluoksniuotoms konstrukcijoms išorinio sluoksnių medžiagos tamprumo modulis E_1 yra didesnis už vidinio sluoksnių medžiagos tamprumo modulį E_2 . Esant atvirkštinėms sluoksniuotoms konstrukcijoms, išorinio sluoksnių medžiagos tamprumo modulis E_1 yra mažesnis už vidinio sluoksnių medžiagos tamprumo modulį E_2 .

Pagal panaudojimo paskirtį statinyje G. Marčiukaitis, J. Valivonis [11] siūlo skirstyti atitvarines šiluminės laikančias, laikančias ir mišrias šiluminės atitvarines ir laikančias. Atitvarinės šiluminės laikančios lengvosios sluoksniuotosios konstrukcijos naudojamos kaip išoriniai bei vidiniai sienų elementai, kurių pagrindinė paskirtis užtikrinti reikiamą temperatūrą, drėgmę ir garso izoliacijos reikiamą patalpų sąlygas. Laikančiosios lengvosios sluoksniuotosios konstrukcijos naudojamos rečiau, nes yra skirtos nedidelėms apkrovoms perimti. Mišrios paskirties sluoksniuotosios konstrukcijos atlieka ir laikančią ir izoliuojančią atitvarinių konstrukcijų vaidmenį.

Taip pat G. Marčiukaitis, J. Valivonis pasiūlo sluoksniuotąsias konstrukcijas skirstyti konstrukciniu požiūriu bei pagal skerspjūvio konstrukcines savybes. Konstrukciniu požiūriu skirstoma lengvasluoksniuotąsias konstrukcijas su standžiais ir minkštais vidiniais, plonais ir storais išoriniais sluoksniais.

Pagal skerspjūvio konstrukcines savybes, vidiniai bei išoriniai sluoksnių standumai galima skirstyti keturius pagrindinius tipus: I – sandvich, II – su standumo briaunomis, III – su uždaro kontūro išoriniais sluoksniais, IV – su betono tipo išoriniais sluoksniais.

1.2 Sluoksniuotų konstrukcijų panaudojimo sritys

Sluoksniuotos konstrukcijos dar kitaip vadinamos sluoksniuotais konstrukciniais elementais (SKE) yra baigtin sluoksni, pagaminti iš dviejų ar daugiau skirtingų medžiagų, skaiti turintis kinas [1]. Sluoksniuot konstrukcij sluoksniai gali būti sudaryti iš homogeninių, kompozitinių medžiagų arba jų derinio. Sluoksniuot konstrukcij panaudojimo sritis spektras gana platus. Pradedant statybos sektoriumi ir baigiant jį taikymu orlaiviuose [2]:

- Lengvos ir standžios daugiasluoksnės plokštės yra svarbios daugeliui moderni orlaivių dizainui.
- Geležinkelio transporte, nes galimos mažo svorio (geras svorio ir stiprumo santykis), tvirtos ir turi geras dinamines savybes, krovinių konteineriams.
- Svarbios daugelio pramonės segmentuose: jūr (laivų korpusai), aviacijos (orlaivių plokštės) ir automobilių (ypač sportinių automobilių gamyboje).
- Plačiai naudojamos statybose. Sluoksniuotos plokštės taikomos pramoninėse paskirties pastatuose, sporto halėse, alyvų objektuose, gyvulininkystės objektuose ir t.t. Taip pat naudojamos kaip karkaso elementai (kolonos, sijos, santvaros), daugiasluoksnės plokštės stogams ir sienoms.
- Laivų gamyboje (laivų kabinoms, deniams)

Aviacijoje ir laivyboje ypač susidomėjo sulaukiant sluoksniuotos konstrukcijos, aliuminis ó aliuminio putos- aliuminis. Jų potencialas panaudoti esant didelėms temperatūroms.

Konstrukcijos, plienas-aliuminio putos- plienas, sulaukiant didelio dėmesio variose pramonėse, ypač tokiose kaip traukiniai ir automobiliai, nes jos lengvos, didelio specifinio stiprumo ir geros absorbcijos. Tačiau tokia konstrukcijų gamyba metalurginiu būdu yra sudėtinga ir didelės kainos. Kad supaprastinti tokių konstrukcijų gamybą ir tuo pačiu sumažinti kainą buvo pradėti tyrimai, kurių metu sluoksniai yra suklijuojami. Klijuojamų konstrukcijų stiprumas sumažėja palyginus su metalurginiu būdu gaunamomis tokios sudėties konstrukcijomis.

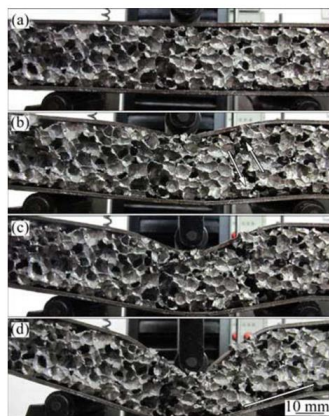
1.3 Sluoksniuotų konstrukcijų stiprumo ir standumo tyrimų apžvalga

Sluoksniuotų konstrukcijų stiprumo tyrimai gali būti atliekami analitiniais, skaitmeniniais ir eksperimentiniais metodais. Dažniausiai tyrimui naudojami keli metodai, kad būtų galima palyginti rezultatus ar patvirtinti išvesti skaičiavimo metodiką patikimumu.

Analitinės skaičiavimo metodikos lygtims sudaryti naudojamos įvairios teorijos, prielaidos ir kiti patikrinti metodai. Išvestoms lygtims patikrinti dažniausiai atliekami eksperimentiniai bandymai arba panaudojamas skaitmeninis metodas. Skaitmeniniame metode populiariausias yra baigtinių elementų metodas (BEM-as).

Šioje dalyje apibūdinami analitiniai, skaitmeniniai, eksperimentiniai metodai taikomi sluoksniuotų konstrukcijų stiprumo ir standumo tyrimams.

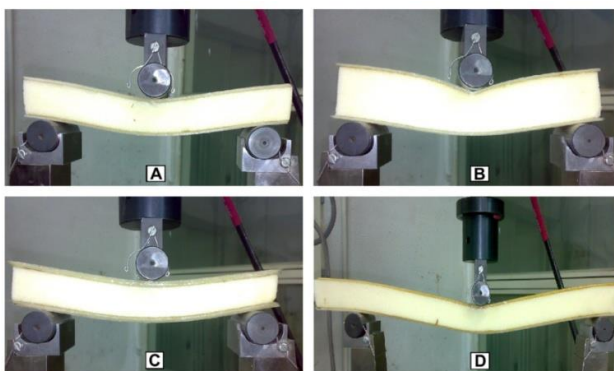
Guo-yin Zu, Ri-huan Lu, Xiao-bing Li ir kt. [3] atliko tyrimą, kuriuo buvo siekiama nustatyti sluoksniuotos konstrukcijos, *plienas-aliuminio putos-plienas* sutvirtintos poliamido-epoksidine derva, optimaliausi konstrukcijų ir didžiausi galimi apkrovai. Tyrimui naudotos Q235B tipo plieno plokštės (3, 4, 5, 6, 8 mm) ir aliuminio putos (10, 20, 30, 40, 50 mm storio), bandymai buvo pagaminti 240 mm ilgio ir 80 mm pločio. Bandymų stiprumui nustatyti panaudotas trijų taškų lenkimo testas. Spaudimo galvutės greitis 5mm/min., skersmuo 60 mm, o plotis 150 mm (1.1 pav.).



1.1 pav. Konstrukcijos, plienas-aliuminio putos-plienas, lenkimo bandymas skirtingu laiku, kai plieno plokštės storis yra 3 mm, aliuminio putos storis 40 mm [3].

Bandymo metu nustatyta, kad lenkiant atsparumas padidėja, kai didinamas storis, tiek plokštė, tiek aliuminio putos. Galima didžiausia apkrova yra 66,06 kN, kai plienos plokštės storis 8 mm, aliuminio putos storis 50 mm. Taip pat nustatytos nesukmingų bandymų priežastys, per didelė apkrova, kuri sukėlė sluoksniuotos konstrukcijos deformaciją, ir trūkumai, atsiradę aliuminio putos gamybos metu, aušinimo procese.

Trijų taškų lenkimo schema taip pat panaudota ir Soheil Dariushi ir Mojtaba Sadighi [5] tyrime, kuriame pristatyta geometriškai netiesin sluoksniuot plokštės teorija ortotropinms sluoksniuotoms sijoms, kuriose numatoma didėjanči ir vidurinio sluoksni deformacija. Sukurta teorija yra grindžiama penkiomis prielaidomis. Lygtys išvestos remiantis aukštes eilės (high order) sluoksniuotos plokštės teorija, kurioje naudojama šis Green strain tensoris ir šis Piola-Kirchoff stress tensoris. Netiesinės lygtys paprastai sutvirtintai sijai gautos naudojant Ritz metodą su minimalios potencialios energijos principu. Gautos lygtys išspręstos pagal Newton-Raphson techniką. Kad gauti skaitiniai rezultatai būtų pagrįsti, atliktas trijų taškų lenkimas (1.2 pav.). Taip pat buvo taikomas supaprastinimas siekiant gauti tiesinio modelio rezultatus ir geometriniai parametrai, tiesiniai ir netiesiniai modeli skirtumui.

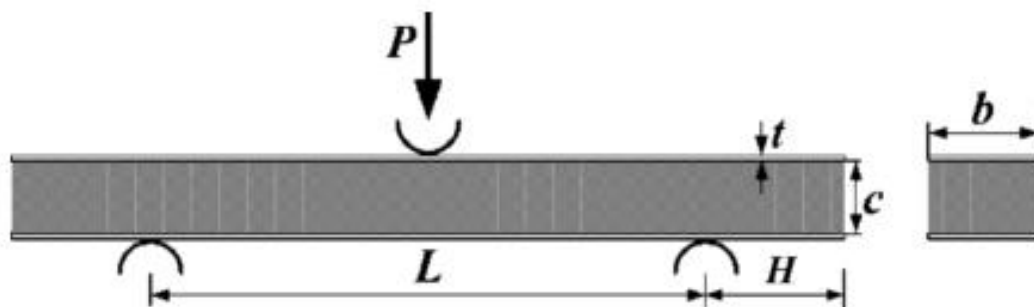


1.2 pav. Trijų taškų lenkimo schema [5]

Trijų taškų lenkimo bandymui pagaminti keturi skirtingi matmenų pavyzdžiai. Ji-orini sluoksni gamybai panaudota medžiaga Hexply1454 (tai austo stiklo / epoksidinis prepregas), viduriniam sluoksniui panaudotos poliuretano putos. Sluoksniai sutvirtinti epoksidine derva. Bandiniai buvo testuojami *Instron* prietaisu pagal ASTM C 393. Kiekvienas bandymas pakartotas bent tris kartus 5 mm/min. greičiu. Bandiniai A, B ir C ilgis buvo 170 mm, o D – dvigubai ilgesnis – 340 mm.

Atlikus trijų taškų lenkimo bandymus nustatyta, kad sukurtos netiesinės aukštes eilės teorijos sluoksniuotoms sijoms analitiniai rezultatai atitinka eksperimentiškai gautus rezultatus. Taip pat rezultatai palyginimas patvirtino hipotezes, kurios buvo iškeltos remiantis analitiniais spėjimais apie tiesinius ir netiesinius panašumus ir skirtumus, kad sijos linkis didėja didinant sluoksniuotos sijos ilgį, o mažėja didinant vidurinio ir ji-orini sluoksni storį. Tai rodo, kad netiesiniai reikšmingai tampa reikšmingesni, o kai kuriais atvejais tiesinio modelio rezultatai yra nepatikimi.

Zhibin Li, Zhijun Zheng ir kiti [8] tyr trisluoksn konstrukcij , kurios –erdis sudaryta i– aliuminio put , o i–oriniai sluoksniai i– aliuminio, esant skirtingoms temperat roms. Analitiniam modeliui sudaryti modifikuotas Gibsono modelis. Eksperimentiniams tyrimams pritaikyta trij ta–k lenkimo schema (1.3 pav.).



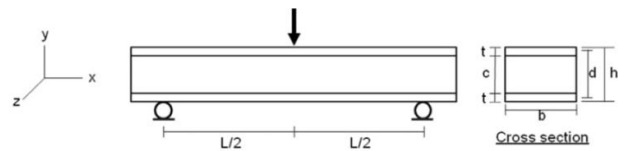
1.3 pav. Trij ta–k lenkimo schema [8]

Siekiant nustatyti galimus suirimo tipus panaudotas skirtingas i–orini (1.0, 2.0 ir 3.0 mm) ir vidinio (10, 20, 30, 40 ir 50 mm) sluoksn storis. Sij ilgis 300 mm, o plotis 630 mm. Aliuminio ir aliuminio put sluoksniai suklijuoti su auk–tos temperat ros neorganiniais klijais AK04-4, kuri tempimo stiprumo riba 35 MPa, darbo temperat ra iki 1500°C.

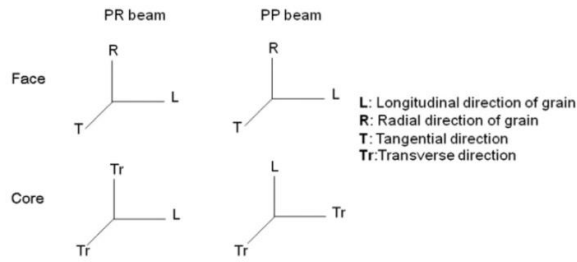
Eksperimentiniai bandymai buvo atliekami MTS810 testavimo sistema. Naudota trij ta–k lenkimo ranga, kurios kryflm s greitis 0,05 mm/s. 10 mm skersmens cilindro formos ritin liai naudoti bandiniams atremti ir apkrauti. Ilgis tarp atram 250 mm. Bandymai atlikti esant penkioms skirtingoms temperat roms: 25°C (kambario temperat ra), 200°C, 300°C, 400°C ir 500°C. Nuokrypis nuo kiekvieno bandymo temperat ros buvo 5°C.

Palyginus rezultatus nustatyta, kad modifikuot Gibsono model galima taikyti daugiasluoksnij , esan i auk–toje temperat roje skai iavimui.

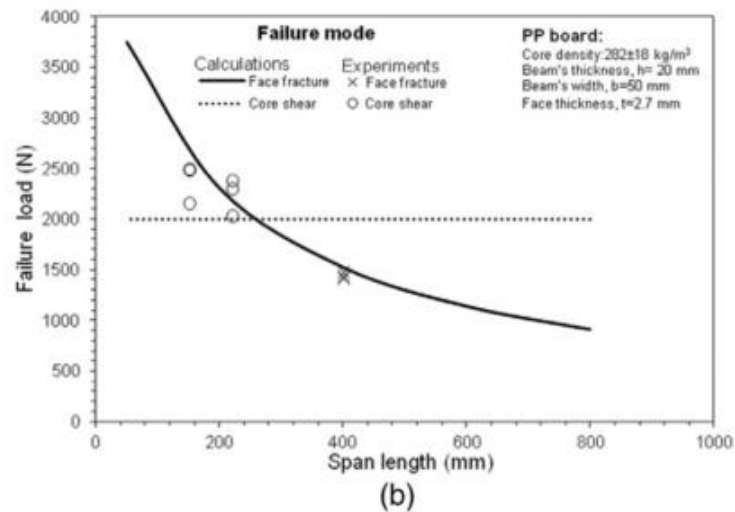
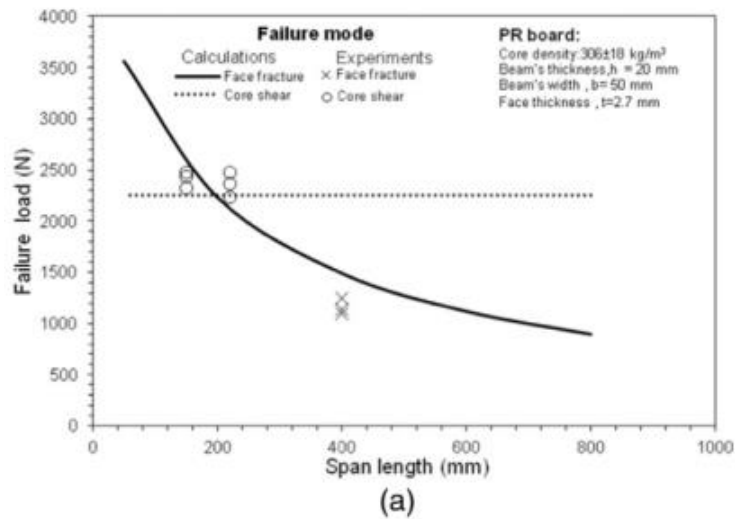
Suthon Srivaro, Nirundorn Matan ir Frank Lam [6] atliko sluoksnuotos plok–t s, sudarytos i– alyvpalm s medienos, suklijuotos su kau iukmedflio fanera, panaudojant MUF (melamino karbamido formaldehido) derv , standumo ir stiprumo tyrim . Buvo tiriama tankio, alyvpalm s medienos riev s orientacijos, kau iukmedflio faneros storio ir atstumo tarp atram centr taka konstrukcijos stiprumui ir standumui. Panaudota linijin tamprios sijos teorija (linear elastic beam theory), kad b t galima numatyti plok–i lenkimo charakteristikas. Analitiniams rezultatams pagr sti atliktas eksperimentas, kuriame panaudotas centrinis lenkimas (1.4 pav.).



Grain orientations of the face and core



1.4 pav. Centrinio lenkimo schema ir bandini vidinio ir i-orini sluoksni strukt r orientavimas [6]

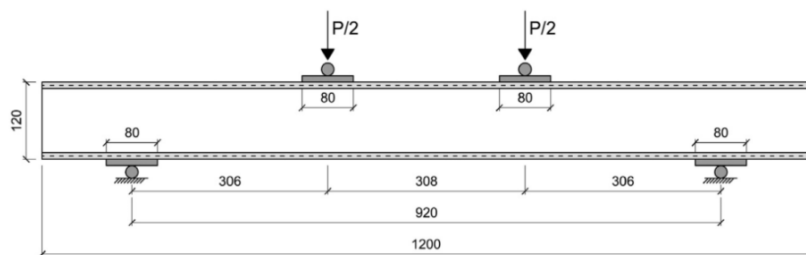
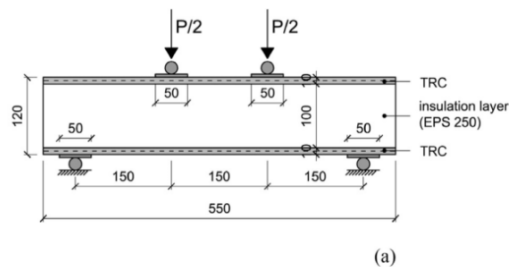


1.5 pav. Analitiniai ir eksperimentiniai rezultatai, suirimo apkrovos pokytis nuo atstumo tarp atram : a ó horizontalioje pad tyje, b ó vertikalioje pad tyje [6]

Centrinis lenkimas atliktas trimis skirtingais atstumais tarp atram , 150 mm, 220 mm ir 400 mm. Bandiniai buvo 50 mm ilgesni ufi atstumus tarp atram . Bandini plotis ó 50 mm. Kau iukmedffio faneros strukt ra lygiagreti sijos ilgiui. Lenkimo bandymai atlikti naudojant 150 kN universal testavimo rengin . Lenkimo metu galvut s greitis buvo pastovus 8 mm/min. Apkrovos ir linkio kreiv s automati–kai pateiktos bandymo metu. Suirimo atveju didffiausia apkrova taip pat buvo uffiksuota.

Atlikus bandymus ir palyginus rezultatus gauta, kad alyvpalm s medienos sluoksnio strukt ros orientacija maflai takoja standum ir stiprum . Taip pat nustatyta, kad alyvpalm s medienos sluoksnio tankis takoja standum ir stiprum , padidinus tank did ja ir –ie parametrai. Galiausiai, i–vestos standumo ir suirimo apkrovos lygtys buvo pasi lytos praktiniam naudojimui apskai iuojant tokias sluoksniuotas konstrukcijas.

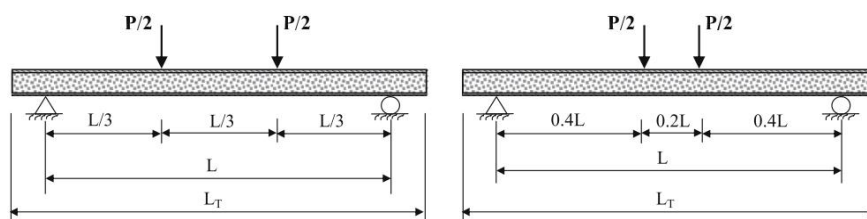
Isabella Giorgia Colombo, Matteo Colombo ir Marco di Prisco [4] pasi l vietoj –lyties jung i panaudoti polistireno putas. Norint i–siai–kinti tokios konstrukcijos elgsen ir suirimo mechanizmus, eksperimentiams tyrimams naudojo keturi ta–k lenkimo schem . Sij vidiniai sluoksniai buvo pagaminti i– 100 mm storio polistireno put (EPS250) ir padengti 10 mm storio betono sluoksniu (TRC), kuriam sustiprinti panaudojo –armams atspar stiklo audin , suderint i–ilgai sijos. Keturi ta–k lenkimo testui (1.5 pav.) panaudojo elektromechanin pres *INSTRON* 5867 su didffiausia 30 kN aprova.



1.6 pav. Sluoksniuot sij geometriniai parametrai ir keturi ta–k lenkimo schem , geometriniai parametrai pateikti mm [4]

Atlikus tyrim nustatyta, kad reik–ming vaidmen atliko EPS put tangentinis, o nelinijinis elgesys. Taip pat sijos gamybos technologija be klij panaudojimo leido i–vengti atsiklijavimo tarp sluoksni .

A.C. Manalo ir kiti [7] tyr naujos kartos sluoksniuot kompozitini sij , kurios pagamintos i–stiklo pluo–tu sustiprint polimer ir modifikuoto fenolio, elges lenkiant. J stiprumui ir irimo mechanizmas horizontalioje ir vertikalioje pad tyse nustatyti atlikti analitiniai, eksperimentiniai ir skaitmeniniai tyrimai. Analitiniams tyrimams panaudota pluo–to modelio analiz (PMA), ir –lyties deformacijai nustatyti i–vesta formul panaudojus S. Timo–enko sijos teorij . Skaitmeniniams tyrimams panaudotas baigtini element metodas (BEM). Eksperimentiniams rezultatams gauti atliktas statinis keturi ta–k lenkimo testas pagal ASTM C393-00 standart (1.6 pav.).



1.7 pav. Sluoksniuot kompozitini sij lenkimo schema [7]

Tyrimams panaudotas universalus testavimo renginys su 100 kN hidrauline pavara, apkrovos greitis 3mm/min. Norint vertinti tempimus apkrovimo ir suirimo metu buvo prijungti tempi matuokliai ant sijos vir–utinio ir apatinio pavir–i . Apkrovos, poslinkiai ir tempimai gauti naudojant duomen kaupiklius.

Inovatyvi sluoksniuot kompozitini sij elgesys lenkiant ir suirimo mechanizmai i–tirti eksperimentini–kai, analitini–kai ir skaitmenini–kai esant sijoms horizontalioje ir vertikalioje pad tyse. Eksperimentiniai tyrimai parod , kad pagal lenkimo apkrov sluoksniuotos kompozitin s sijos horizontalioje pad tyje staigiai l flo. Sijoms esant vertikalioje pad tyje i–orinis sluoksnis padidino j stiprum , nes atsiradusiems tr kimams viduriniame sluoksnyje neleido i–plisti.

Taip pat norint nustatyti bendr sluoksniuot kompozitini sij elgsen reikia atsiffvelgti vidurinio sluoksni medfliagos stiprum ir –lyties standum (AG). Teoriniai suirimo apkrovos prognozavimai, naudojant sijas sudaryt kompozitini medfliag mechanines savybes, sutapo su eksperimentiniais rezultatais. Atlikti PMA (pluo–to modeliavimo analiz) ir BEM (baigtini element metod), pateik i–samesn supratim apie sluoksniuot kompozitini sij elges lenkiant.

Tyrimo rezultatai parod , kad tokio tipo sijos turi potencial .

1.4 Armatūros tipai

Polimerai. Plastikai ó tai didel ir vairi lengv j konstrukcini medffiag grup , kuri pagrindine sudedamoji dalis yra polimerai ó didelio molekulinio svorio sintetiniai, re iau ó gamtiniai dariniai. Plastik savybes lemia j pagrindin sudedamoji dalis ó polimeras. B dingas j bruoflas yra tas, kad baigiamoje gamybos stadijoje jie yra kieti, o kurioje nors tarpin je ó mink-ti, ir jiems, veikiant -ilumai bei sl giui kartu arba atskirai, galima suteikti vairi form [9].

Ufipildai ó tai medffiagos, kuri pridedama plastikus norint pakeisti j savybes arba sutaupti derivas. Ufipildai dafnai sudaro 10-70 % plastiko mas s. Jie padidina stiprum ir kietum , sumaffina reaktoplastik susitraukim formuojant, pary-kina arba pakei ia kai kurias kitas savybes, pavyzdffiui, padidina atsparum kaitrai, suteikia elektros laidum arba diaelektrines savybes, kei ia frikcines savybes, lengvina apdirbim . Ufipildai gali b ti milteliniai (gipso, talko arba fl ru io, medffio arba asbesto miltai, suodffiai, kaolinas), pluo-tas (medviln s, stiklo, asbesto, taip pat polimerinis), lak-tai (popieriaus, audinio, stiklo audinio, medffio luk-to) [9].

Stiklo pluo-tas. Tai pla iausiai polimeriniams kompozitams naudojama armuojan ioji medffiaga. Kaip ir kiti pluo-tai, jis pasiflymi dideliu stiprumu, bet maflu tamprumo moduliu. Yra vairi stiklo pluo-to variant : E stiklas (maflu elektrinio laidumo), ECR stiklas (atsparus korozijai), S stiklas (padidinto stiprumo 10 % - 15 % stipresnis ufl E stikl) R stiklas, Te stiklas, silikono/kvarco stiklas (atsparus elektros i-lydffiams), D stiklas ir kt. [10].

Anglies pluo-tu. TŸe pluo-tai, palyginti su stiklo ir armidiniais pluo-tais, yra atsparesni nuovargiui. Be to, anglies pluo-tui, skirtingai nei stiklo ar armidiniam, atskir gij skilimai ir nutr kimai nepavojingi, nes pluo-tas yra supintas i-t kstan i ar net -imt t kstan i labai plon gij [10].

Taigi -iuo metu pla iausiai naudojami stiklo ir anglies pluo-tai. Stiklo pluo-tas yra pigesnis ufl anglies pluo-t ir yra vairi form , tod l naudojamas labai pla iai. Anglies pluo-tai yra standesni ir stipresni nei stiklo pluo-tai, tod l jie naudojami lengv standffi konstrukcij gamyboje [12].

Naudojant kompozitines medffiagas ir konstrukcijas, galima:

- padidinti gaminio stiprum , pastovum , standum naudojant maffiau medffiag ;
- sumaffinti atskir gaminio element ir viso gaminio svor , taip pat konstrukcij skerspji vio matmenis;
- pagerinti gaminio termoizoliacines ir akustines savybes;
- atitinkamai i-d stant konstrukcijos sluoksnius, maksimaliai panaudoti visas medffiag savybes;

- sumažinti svorį ir matmenis konstrukcijoms, kurias remiasi arba prie kurių tvirtinamos kompozicinis konstrukcijos su termoizoliaciniais sluoksniais;
- sumažinti konstrukcijų gamybos energijos, transportavimo ir montavimo išlaidas [12].

Anglies plastikas (PEEK-CF) ir stiklo plastikas (PEEK-GF). Polietereterketonas - tai aukštos kokybės inžinerinis aukštos temperatūrinis plastikas. Cheminis flym žymėjimas - **PEEK**. Lietuvoje PEEK plastikas yra pakankamai naujas polimeras, tačiau dėl matmenų stabilumo jo populiarumas vis auga.

Tybo plastiko savybės:

- Ufiktikrinamas matmenų stabilumas net ir esant aukštomis temperatūroms;
- Nedegus - savaimė uflgstantis bei mažo dūmingumo;
- Atsparus spinduliavimui;
- Atsparus karštam vandeniui ir garui, taip pat korozijai;
- Atsparus armams, druskų tirpalams, alkoholiui, tepalams bei kitoms cheminėms medžiagoms;
- Pakankamai atsparus slėgiui;
- Puikios slydimo savybės bei atsparumas trinčiai;
- Puikios elektros izoliacinės savybės visoje temperatūrinėje skalėje;
- Puikiai subalansuotos standumo, stiprumo ir smūginio atsparumo savybės;
- Ypatingai vienalytė medžiaga, kas leidžia išvengti priemaišų;
- Puikios tribologinės savybės;
- Higieniškas bei ilgaamžis [13].

PEEK plastikas gali būti gaminamas su vairiais priedais, kas suteikia jam papildomą savybių su stiklo pluoštu (sumažina terminio plėtimosi koeficientą), anglies pluoštu (pagerina matmenų stabilumą), dūmų žymėjimo savybes, mažina frikcinius koeficientus).

Tokių plastikų didžiausias trūkumas yra didelė medžiagų savikaina.

Plieniniai lakštai. Armavimas plieniniu lakštu medžiagos savikainos atžvilgiu yra pigus būdas, tačiau turi trūkumų, turi didelį tankį ir yra ribotai matmenų.

IŠVADOS

1. Sluoksniuot konstrukcij stiprumo ir standumo tyrimai atliekami analitiniu, skaitmeniniu ar eksperimentiniu metodu. Dafniausiai tyrimuose taikomi keli metodai, kad palyginti rezultatus ar patvirtinti i-vest metodik patikimum .
2. Tiriamos trisluoksn s konstrukcijos, konstrukcijos sudarytos i- dviej skirting medfiiag . Viduriniui sluoksniui naudotos lengvos medfiiagos, dafniausiai tam tikros r -ies putos. I-oriniai sluoksniai gaminami i-standfii ir stipri medfiiag (aliuminio, faneros, polimer).
3. Eksperimentiniuose tyrimuose naudoti trij , keturi ta-k lenkimai.

2. ANALITINIO TYRIMO METODIKA PASTOVAUS SKERSPJŪVIO SLUOKSNIUOTOS KONSTRUKCIJOS STIPRUMUI IR STANDUMUI NUSTATYTI

Atsparumo pofli riu sluoksniuotos konstrukcijos pagrindin ufduotis yra atlaikyti i-orines apkrovas. Apkrovos gali b ti i-orin s j gos, momentai, mechanin s varflos arba temperat ros pokytis [1].

2.1 Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos santykinio standumo skaičiavimas

Pastovaus skerspj vio dvikomponent s konstrukcijos standumo ir stiprumo charakteristikos nustatytos panaudojus J. Barei-io ó A. Paulausko daugiasluoksni konstrukcij skai iavimo metodik [1].

Pirmiausia apskai iuojamas a-inis standumas , kurio matematin i-rai-ka pateikta 2.1 formule:

$$B = \sum A_i \cdot E_i ; \quad (2.1)$$

ia A_i - i -osios medfiagos sluoksnio skrespj vio plotas, m^2 ;

E_i - i -osios medfiagos tamprumo modulis, Pa .

Formul pertvarkoma ir vietoje A_i ra-omas skerspj vi plot santykis, kuris apskai iuojamas pagal formul (2.2):

$$\varphi_i = \frac{A_i}{A_{arm.} + A_{med.}} ; \quad (2.2)$$

ia φ_i - i -osios medfiagos santykis konstrukcijos skerspj vyje ;

$A_{arm.}$ - armat ros sluoksnio skerspj vio plotas, m^2 ;

$A_{med.}$ - medienos sluosksnio skerspj vio plotas, m^2 .

Tada konstrukcijos standumas apskai iuojamas pagal formul (2.3):

$$B = \sum \varphi_i \cdot E_i . \quad (2.3)$$

Armuotai medinei konstrukcijai standum galima išreikšti formule (2.4):

$$B = \varphi_{arm.} \cdot E_{arm.} + \varphi_{med.} \cdot E_{med.} = \frac{A_{arm.}}{A_{arm.} + A_{med.}} \cdot E_{arm.} + \frac{A_{med.}}{A_{arm.} + A_{med.}} \cdot E_{med.} . \quad (2.4)$$

konstrukcijos standumo formulė – armatūros sluoksnio storis t , gauname tokią matematinę išraišką (2.5):

$$B = \frac{t \cdot b}{t \cdot b + (H - t) \cdot b} \cdot E_{arm.} + \frac{(H - t) \cdot b}{t \cdot b + (H - t) \cdot b} \cdot E_{med.} = \frac{t \cdot E_{arm.} + (H - t) \cdot E_{med.}}{H} ; \quad (2.5)$$

čia H - konstrukcijos skerspjūvio aukštis (storis), m ;

t - armatūros storis, m ;

b - konstrukcijos skerspjūvio plotis, m .

Konstrukcijos santykiniam standumui apskaičiuoti panaudota formulė (2.6):

$$B_{sant.} = \frac{B}{\sum m_i \cdot p_i} = \frac{B}{m_{arm.} \cdot p_{arm.} + m_{med.} \cdot p_{med.}} ; \quad (2.6)$$

čia m_i - i -ojo sluoksnio medžiagos masė, kg ;

p_i - i -ojo sluoksnio medžiagos savikaina, $€/kg$.

1 m ilgio sijos masė apskaičiuojama pagal formules (2.7):

$$\begin{aligned} m_{arm.} &= t \cdot b \cdot l \cdot \rho_{arm.} ; \\ m_{med.} &= (H - t) \cdot b \cdot l \cdot \rho_{med.} ; \end{aligned} \quad (2.7)$$

čia $\rho_{arm.}$, $\rho_{med.}$ - atitinkamo tipo armatūros ir medienos tankiai, kg/m^3 ;

l - skaičiuojamos konstrukcijos ilgis .

2.2 Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos santykinio stiprumo skaičiavimas

Apskaičiuojant konstrukcijos santykinį stiprumą pirmiausiai skaičiuojamas konstrukcijos stiprumas silpnesniajam sluoksniui. Tam sluoksniui nustatyti naudojama santykinė lygtis (2.8):

$$\frac{F_1^{ad}}{F_2^{ad}} = \frac{\varepsilon_1^{ad}}{\varepsilon_2^{ad}}; \quad (2.8)$$

čia F_1^{ad} - 1-osios medžiagos (armatūros) leistinoji apkrova, N ;

F_2^{ad} - 2-osios medžiagos (medienos) leistinoji apkrova, N ;

ε_1^{ad} - 1-osios medžiagos (armatūros) leistinoji deformacija;

ε_2^{ad} - 2-osios medžiagos (medienos) leistinoji deformacija.

Pasinaudojus Huko dėsniu randamos deformacijos (2.9):

$$\varepsilon_i^{ad} = \frac{\sigma_i^{ad}}{E_i}; \quad (2.9)$$

čia σ_i^{ad} - i -osios medžiagos leistinasis tempis, Pa .

Pagal gautas santykinės reikšmės nustatomas silpnesnis sluoksnis konstrukcijoje (2.10 a, 2.10b):

$$\frac{F_1^{ad}}{F_2^{ad}} > 1, \text{ tai stipresnis medžiaga yra 1-oji (armatūra);} \quad (2.10a)$$

$$\frac{F_1^{ad}}{F_2^{ad}} < 1, \text{ tai stipresnis medžiaga yra 2-oji (mediena).} \quad (2.10b)$$

Pasinaudojus silpnesnio sluoksnio stiprumo sąlyga (2.11) randama leistinoji konstrukcijos apkrova (2.12):

$$\sigma_i^{ad} = \frac{F_k}{B} \cdot E_i; \quad (2.11)$$

čia F_k - leistinoji konstrukcijos apkrova, N .

$$F_k = \frac{\sigma_i^{ad} \cdot B}{E_i} . \quad (2.12)$$

finant konstrukcijos leistin j apkrov apskai iuojamas santykinis konstrukcijos stiprumas pagal formul (2.13):

$$F_{sant.} = \frac{F_k}{\sum m_i \cdot p_i} ; \quad (2.13)$$

2.3 Lenkiamos sluoksniuotos konstrukcijos santykinio standumo skaičiavimas

Lenkiamos sluoksniuotos konstrukcijos standumui nustatyti pirmiausia randama neutraliojo sluoksnio linija (2.14) :

$$y_n = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot y_i \cdot E_i}{B} ; \quad (2.14)$$

ia y_i - atstumas nuo abscisi a-ies iki i -ojo sluoksnio skerspj vio vidurio , m .

Daugiasluoksni konstrukcij standumas lenkiant apskai iuojamas pagal formul (2.15) :

$$D = E_k \cdot I_k = \sum_{i=1}^n E_i \cdot I_i . \quad (2.15)$$

Kadangi konstrukcijos skai iuojamojo skerspj vio sluoksniai yra sta iakampio formos , tai i -ojo sluoksnio inercijos momentas randamas pagal formul (2.16):

$$I_i = \frac{b_i \cdot \delta_i^3}{12} + b_i \cdot t_i \cdot y^{*2} . \quad (2.16)$$

Nagrin jamo sluoksnio skerspj vio vidurio atstumas iki pj vio neutraliosios a-ies apskai iuojamas i-lygyb s (2.17)

$$y^* = y_n - 0,5t_i - \sum_m^{i-1} t_m . \quad (2.17)$$

2.4 Lenkiamos sluoksniuotos konstrukcijos santykinio stiprumo skaičiavimas

Turint leistiną normalinį tempimą reikšmes (žr. 3.1 lentelę) lenkimo momentas nustatomas iš lygties

$$M_{leist.} = \frac{\sigma_i \cdot D}{y_i \cdot E_i} . \quad (2.18)$$

Atstumas nuo neutraliosios linijos iki i -ojo sluoksnio apskaičiuojamas pagal formulę (2.19):

$$y_i = \left| y_n - \sum_{m=1}^{i-1} t_m \right| . \quad (2.19)$$

Santykinis konstrukcijos standumas pagal jį sudarančių medžiagų savikainas randamas iš lygties (2.20):

$$D_s = \frac{D}{\sum m_i \cdot p_i} . \quad (2.20)$$

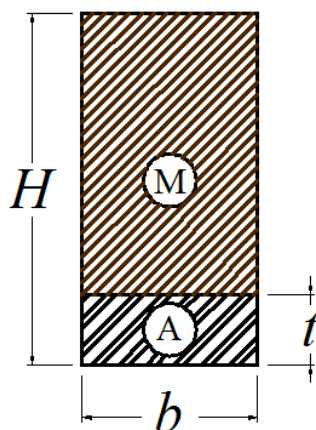
Santykinis konstrukcijos lenkimo momentas apskaičiuojamas iš lygties (2.21):

$$M_s = \frac{M_{leist.}}{\sum m_i \cdot p_i} . \quad (2.21)$$

3. DVISLUOKSNĖS KONSTRUKCIJOS SANTYKINIO STIPRUMO IR SANTYKINIO STANDUMO TYRIMO REZULTATAI

3.1 Tyrimo objektas

Tyrimui pasirinkta pastovaus skerspjūvio (fr. 3.1 pav.) medienos (eglinė, uosis, berflis) konstrukcija, kurios aukštis $H = 100$ mm, ilgis $l = 1000$ mm, plotis $b = 50$ mm, sustiprinta atitinkamos rūšies armatūra (anglies plastikas, stiklo plastikas, plienas), kurios storis t kinta nuo 0 iki 50 mm.



3.1 pav. Tyriama dvisluoksnė konstrukcija ir jos parametrai

Nagrinėjamos konstrukcijos medžiagų charakteristikos ir jų kainos pateiktos 3.1 ir 3.2 lentelėse.

3.1 lentelė.

Naudojamos medienos charakteristikos, kai medienos drėgnumas 12%, ir jų savikaina

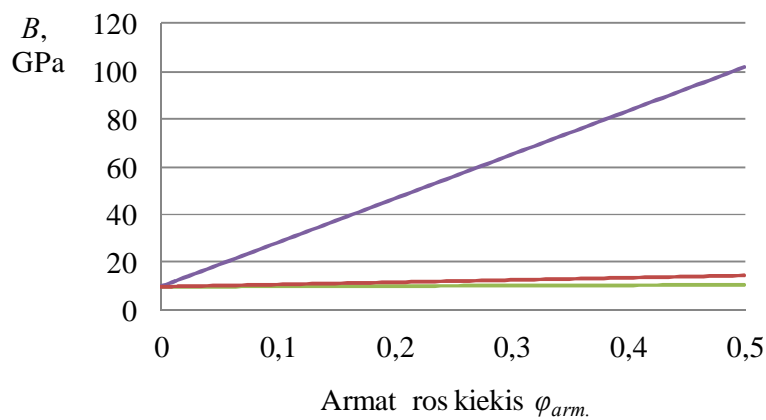
Medienos rūšis	Eglė	Berflis	Uosis
Tankis, kg/m^3	450	630	680
Leistinieji tempimai temp./gniužd. σ_t^{ad} , MPa	44,5	55,0	59,5
Tamprumo modulis tempiant E_t , GPa	10	10	13
Liestinieji tempimai lenkiant σ_{len}^{ad} , MPa	79,5	109,5	123,0
Tamprumo modulis lenkiant E_{len} , GPa	15	15	19
Kaina p , €/kg	0,40	0,44	0,46

Naudojamos armatūros charakteristikos ir jų savikaina

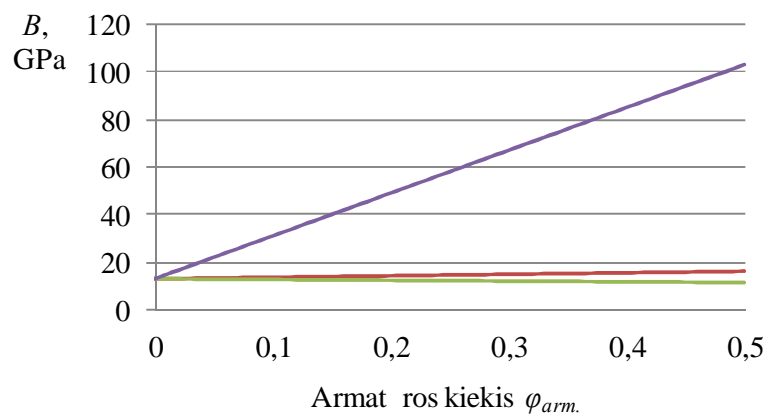
Armatūros rūšis	Plienas	Anglies plastikas (PEEK-CF 30%)	Stiklo plastikas (PEEK-GF 30%)
Tankis, kg/m^3	8000	1410	1530
Leistinieji tempimai temp./gniufl. σ_i^{ad} , MPa	215	201	158
Tamprumo modulis tempiant E_t , GPa	193	19,7	10,5
Liestinieji tempimai lenkiant σ_{len}^{ad} , MPa	-	317	261
Tamprumo modulis lenkiant E_{len} , GPa	-	17,5	10,3
Kaina p , p/kg	2,90	190,0	115,0

3.2 Tempiamos dvisuoksnės konstrukcijos santykinis standumas ir santykinis stiprumas

Pirmiausiai pagal 2.3 formulę apskaičiuojamas kiekvienos konstrukcijos standumas δ tempiant (gniuflindant). Rezultatai pateikti grafikuose (3.2 pav.). Kadangi konstrukcijose, esančiose be armatūros ir be rėms – armatūros, standumai yra vienodi, jų priklausomybė nuo armatūros kiekio pateikta viename grafike (3.2 pav. a). Tų konstrukcijų standumai yra vienodai, nes jų tamprumo moduliai yra lygūs ($E_{eg} = E_{ber} = 10 \text{ GPa}$). Didinant armatūros kiekį sluoksniuotoje konstrukcijoje, jos standumas didėja tiesiškai, išskyrus atvejus sudarytus iš uosio armuoto plastiku, su 30 % stiklo pluoštu (3.2 pav. b), nes uosios tamprumo modulis yra didesnis už uosio plastiko ($E_{uo} > E_{GF}$).



a



b

3.2 pav. Tempiam sluoksniuot konstrukcij : a ó šegl / berflas ó armat rað; b ó šuošis ó armat rað, standumo pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) ó stiklo plastikas; (—) ó anglies plastikas; (—) ó plienas

Kad vertinti standumo pokyt kiekvienoje konstrukcijoje, kai armat ros kiekis kinta nuo 0 iki 0,5 (50mm), apskai iuotas standum santykis ($B_{0,5}/B_0$), τ_{P} santyki rezultatai pateikti 3.3 lentel je.

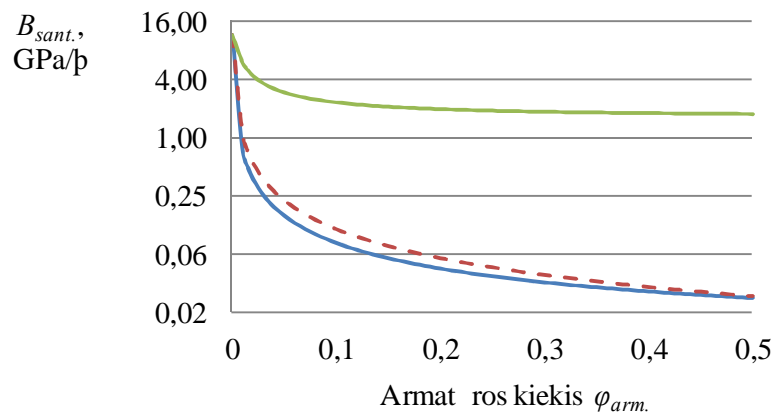
3.3 lentel

Standum santykis ($B_{0,5}/B_0$)

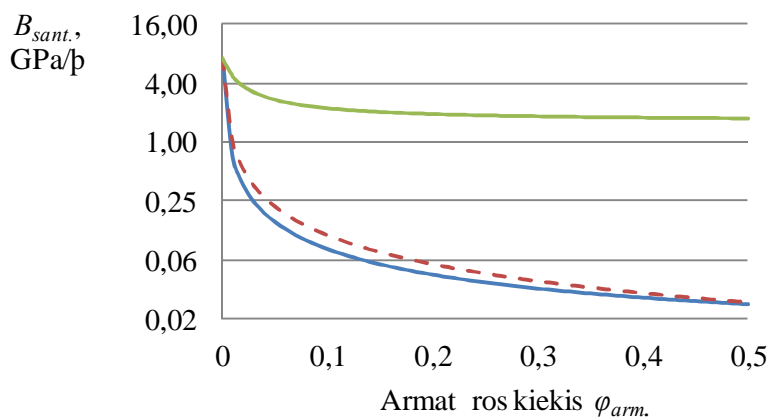
Armat ra Mediena	Plienas	Anglies plastikas (PEEK-CF 30%)	Stiko plastikas (PEEK-GF 30%)
Egl	10,15	1,48	1,02
Berflas	10,15	1,48	1,02
Uosis	7,9	1,25	0,9

Didžiausias standumo pokytis, kuris padidėjo 10,15 kart, nustatytas konstrukcijoje, sudarytoje iš ęglės (berflės) ir plieno.

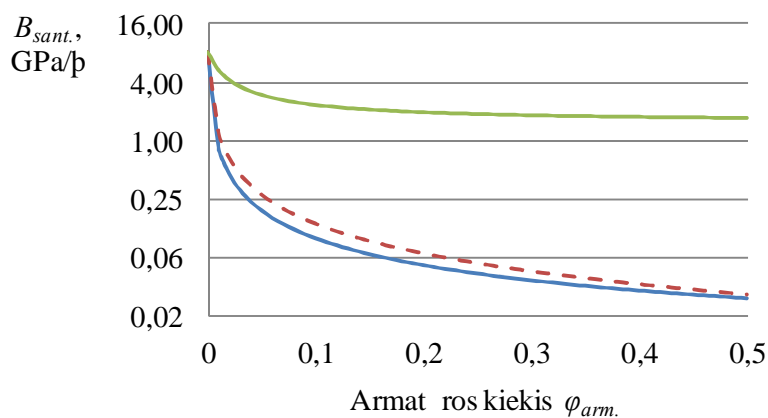
Kadangi projektuojant vienas konstrukcijas siekiama kuo mažesniems naudoti, todėl labai svarbu vertinti ir medžiagų savikainos taikant konstrukcijos charakteristikoms. Todėl pagal 2.6 formulę apskaičiuotas santykinis standumas. Rezultatai pateikti grafiškai (3.3 pav., 3.4 pav., 3.5 pav.). Visais atvejais didinant armatūros kiekį konstrukcijoje santykinis standumas mažėja. Medienos konstrukcijos, armuotos plienu, santykinio standumo mažėjimą lėmė plieno tankis, o armuotos anglies ar stiklo plastikais – jų savikaina.



3.3 pav. Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šerflės armatūra, santykinio standumo pokytis nuo armatūros kiekio. Armatūros tipas: (—) stiklo plastikas; (—) anglies plastikas; (—) plienas



3.4 pav. Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šerflės armatūra, santykinio standumo pokytis nuo armatūros kiekio. Armatūros tipas: (—) stiklo plastikas; (—) anglies plastikas; (—) plienas



3.5 pav. Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šuosis ó armat rað, santykinio standumo pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) ó stiklo plastikas; (—) ó anglies plastikas; (—) ó plienas

I–grafini rezultat (3.3 pav., 3.4 pav., 3.5 pav.) galima teigti, kad vertinant pagal santykin standum , bet kurios r –ies (egl , berflas, uosis) medien racionaliausi sutvirtinti plieniu.

Apskai iuotos deformacijos pagal 2.9 formul ir pagal j santyki reik–mes nustatytas silpnescnis sluoksnis kiekvienoje konstrukcijoje (2.10 a, 2.10 b). Rezultatai pateikti 3.4 lentel je.

3.4 lentel

Silpnescnis sluoksnis dvisluoksn je konstrukcijoje

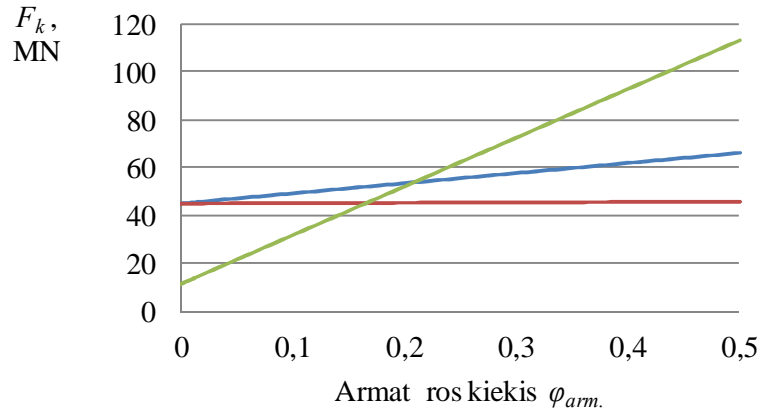
Armat ra (I) / Mediena (II)	Plienas	Anglies plastikas (PEEK-CF 30%)	Stiko plastikas (PEEK-GF 30%)
Egl	0,25	2,29	3,37
Berflas	0,20	1,85	2,72
Uosis	0,24	2,23	3,28

■ - stipresn mediena

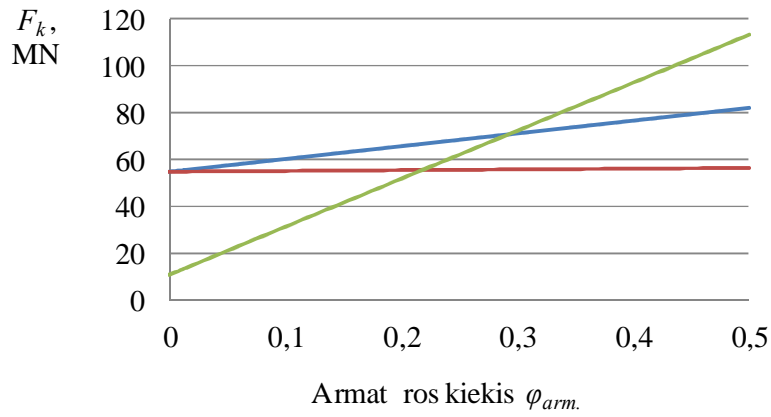
■ - stipresn armat ra

Konstrukcijoje, sudarytoje i–medienos ir plieno, silpnescnis sluoksnis ó plieno, o sudarytoje i–medienos ir anglies ar stiklo plastik , silpnescnis sluoksnis ó medienos.

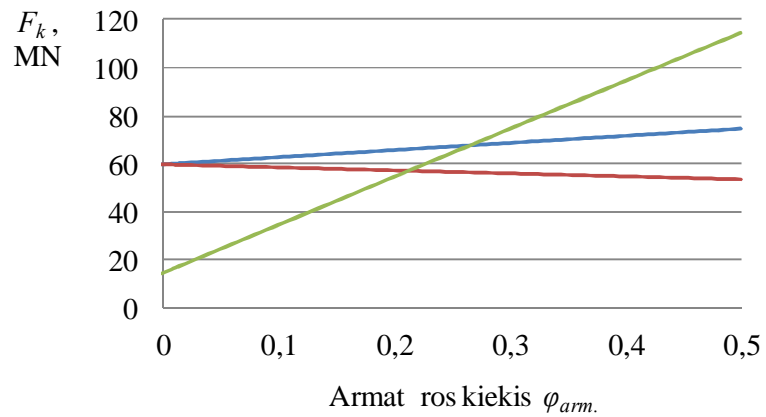
Nusta ius silpnescn sluoksn konstrukcijoje pagal 2.12 formul apskai iuotas tempiamos (gniuofdamos) konstrukcijos stiprumas (leistinoji apkrova). Analitiniai rezultatai pateikti grafi–kai (3.6 pav.). Didinant armat ros kiek konstrukcijoje konstrukcijos, mediena ó plienas ir mediena ó anglies plastikas, stiprumas did jo tiesi–kai. Kai konstrukcijoje armat ros tipas ó stiklo plastikas, tai stiprumas did jo esant egl s ir berflo medienai, o mafl jo ó uosio medienai. Tai takajo, kaip ir standum vertinant, maflscnis stiklo plastiko tamprumo modulis negu uosio medienos ($E_{uo} > E_{GF}$).



a



b

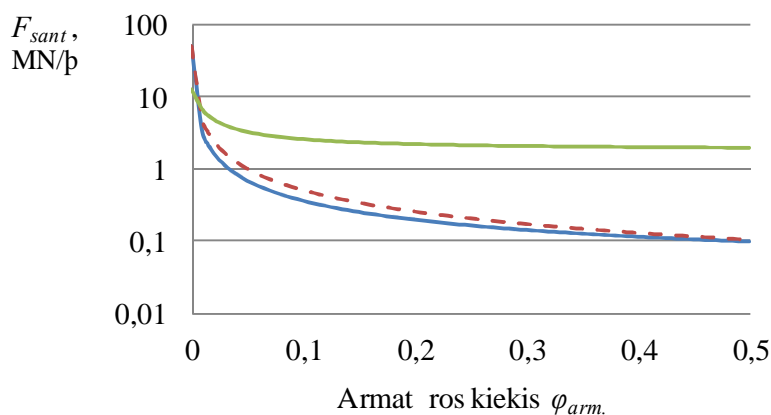


c

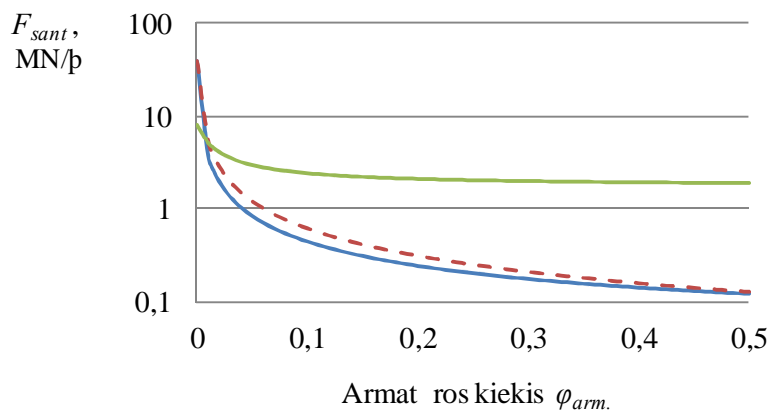
3.6 pav. Tempiam sliekšniuot konstrukcij : a ó šegl ó armat raõ; b ó šberflas ó armat raõ
 c ó šuosis ó armat raõ, leistinos apkrovos (stiprumo) pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros
 tipas: (—) ó stiklo plastikas; (—) ó anglies plastikas; (—) ó plienas

Pagal stiprum egl s medien armuoti anglies plastiku racionalu iki kol anglies plastiko kiekis konstrukcijoje pasiekia 0,2 , nuo 0,2 egl s medienai sutvirtinti tinkamiausia armat ra ó plienas. Esant konstrukcijai, berflas ó armat ra, anglies plastiku racionalu iki 0,29, nuo 0,29 ó plienu. Konstrukcijoje, uosis ó armat ra, anglies plastiku iki 0,27, nuo 0,27 taip pat plienu. Stiklo plastik lyginant su plienu pagal stipruma racionaliausia j panaudoti yra armuojant eglin miedien iki kol jo kiekis pasiekia konstrukcijoje pasiekia 0,15 , berflin medien ó 0,22.

Pagal 2.13 formul apskai iuotas santykinis stiprumas. Rezultatai pateikti grafi-kai (3.7 pav., 3.8 pav.). Didinant armat ros kiek konstrukcijoje santykinis stiprumas mafl ja. Kaip ir santykinio standumo atveju, mafl jim 1 m tokios pat prieftastys, esant armat ros tipui: plienas ó didelis jo tankis, anglies plastikas ir stiklo plastikas ó j savikaina.

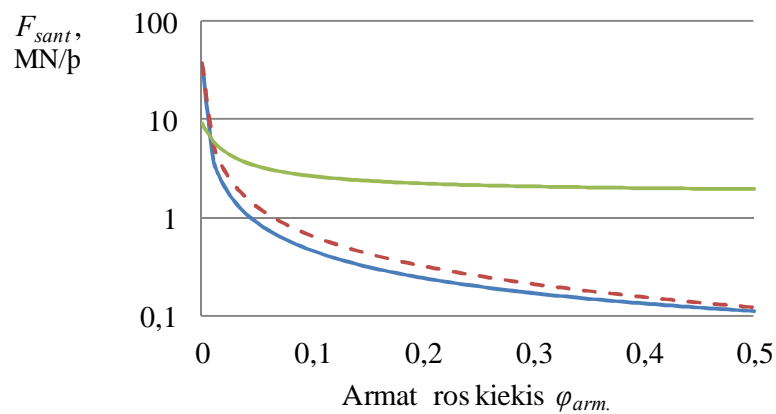


a



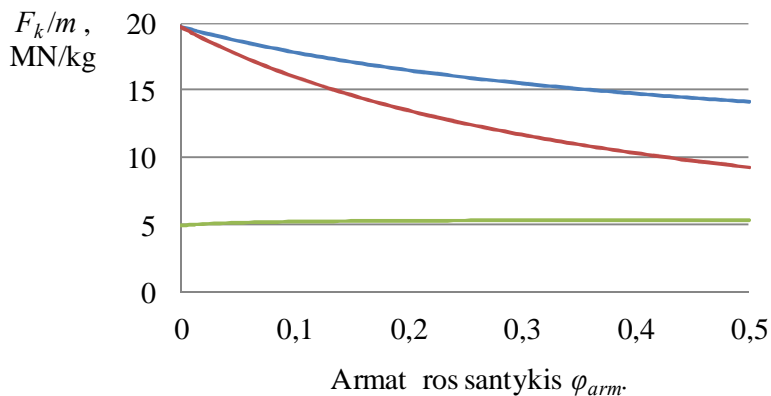
b

3.7 pav. Tempiam sluoksniuot konstrukcij : a ó šegl ó armat raõ; b ó šberflas ó armat raõ, santykinio stiprumo pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) ó stiklo plastikas; (—) ó anglies plastikas; (—) ó plienas

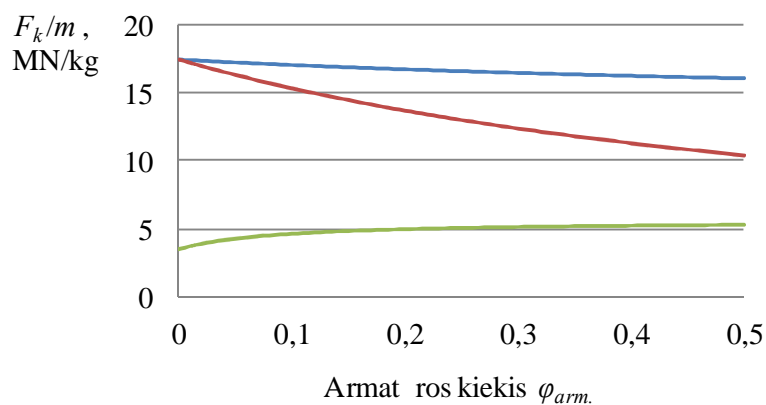


3.8 pav. Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šiuos ϕ armat ra δ , santykinio stiprumo pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) ϕ stiklo plastikas; (—) ϕ anglies plastikas; (—) ϕ plienas

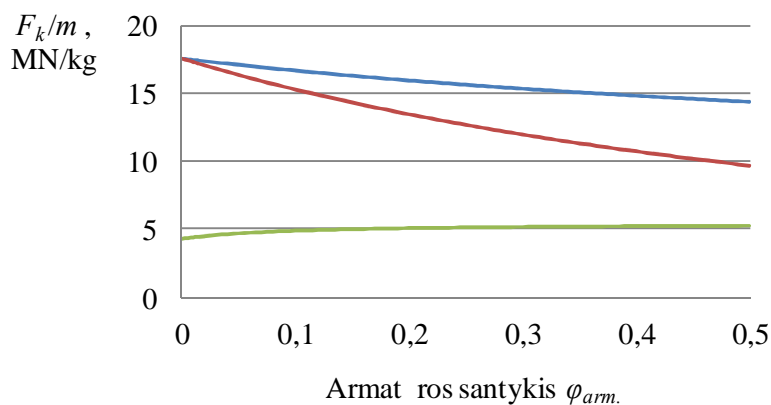
Kad vertinti mas s tak apskai iuotas dvisluoksn s konstrukcijos stiprumo ir mas s santykis. Santyki reik-m s pateiktos grafi-kai (3.9 pav., 3.10 pav.).



3.9 pav. Tempiamos sluoksniuotos konstrukcijos, šegl ϕ armat ra, stiprumo ir mas s santyki pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) ϕ stiklo plastikas; (—) ϕ anglies plastikas; (—) ϕ plienas



a



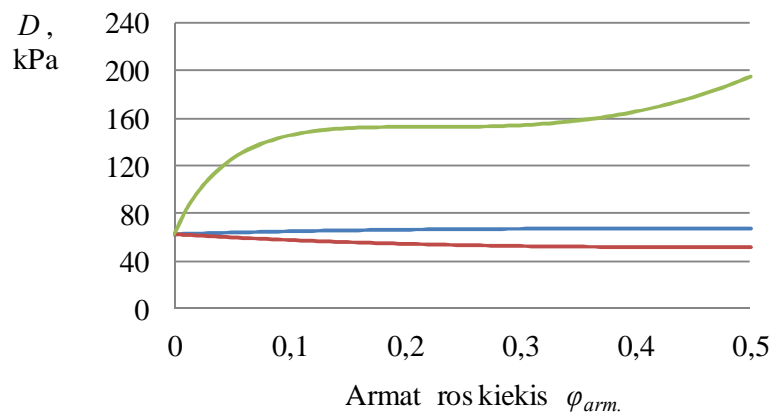
b

3.10 pav. Tempiam sluoksniuot konstrukcij : a - šberflas ó armat raõ; b ó šuosis ó armat raõ, stiprumo ir mas s santyki pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) ó stiklo plastikas; (—) ó anglies plastikas; (—) ó plienas

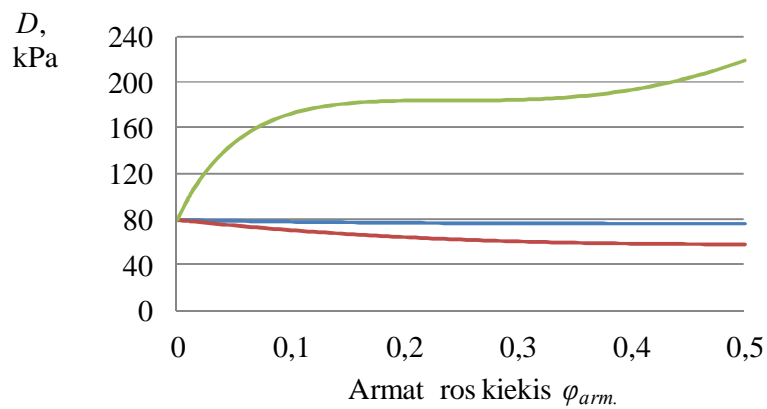
vertinus mas s tak konstrukcijos stiprumui galima, teigti, kad sunkiausia yra konstrukcija, mediena ó plienas. Pagal mas s tak konstrukcijos stiprumui racionaliausias armat ros tipas yra anglies plastikas.

3.3 Lenkiamos dvisluoksnės konstrukcijos santykinis standumas ir santykinis stiprumas

Pagal 2.15 formul apskai iuojamas kiekvienos konstrukcijos standumas j lenkiant. Rezultatai pateikti grafikuose (3.11 pav.). Kadangi konstrukcij , egl - armat ra ir berflas - armat ra,tamprumo moduliai ir lenkiant yra lyg s, tod l j standumai ir vienodi ir jie pateikti bendrame grafike (3.11 pav. a).



a

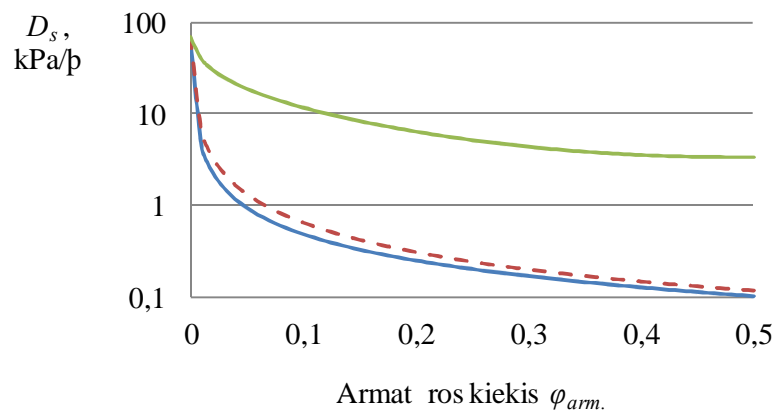


b

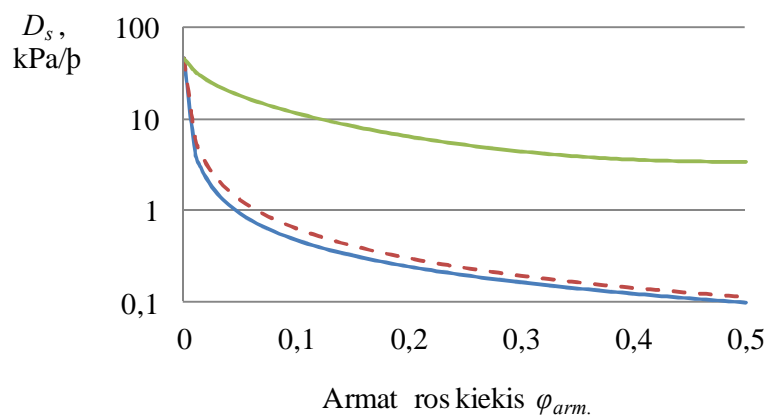
3.11 pav. Lenkiam sluoksniuot konstrukcij : a ó šegl / berflas ó armat rað; b ó šuosis ó armat rað, standumo pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) ó stiklo plastikas; (—) ó anglies plastikas; (—) ó plienas

Lenkiant dvisluoksn konstrukcij standumas did jo egl s / berflo medien sutvirtinus plienu arba anglies plastiku ir uosio medienos konstrukcij ó plienu. Kitais atvejais didinant armat ros kiek konstrukcij standumas mafl jo. Tok mafl jim takajo maflesni armat ros tamprumo moduliai ufl medienos tamprumo modulius lenkimo atveju.

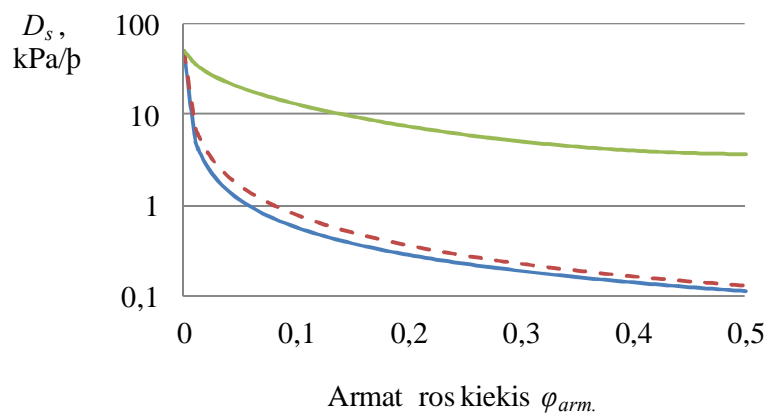
Santykinis standumas apskai iuotas pagal 2.20 formul . Rezultatai pateikti grafi-kai (3.12 pav.). Kaip ir tempimo (gniufldimo) atveju santykinis standumas mafl jo didinant armat ros kiek konstrukcijoje.



a



b



c

3.12 pav. Lenkiam sluoksniuot konstrukcij : a ó šegl ó armat rað; b ó šberflas ó armat rað c ó šuosis ó armat rað, santykinio standumo pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) ó stiklo plastikas; (—) ó anglies plastikas; (—) ó plienas

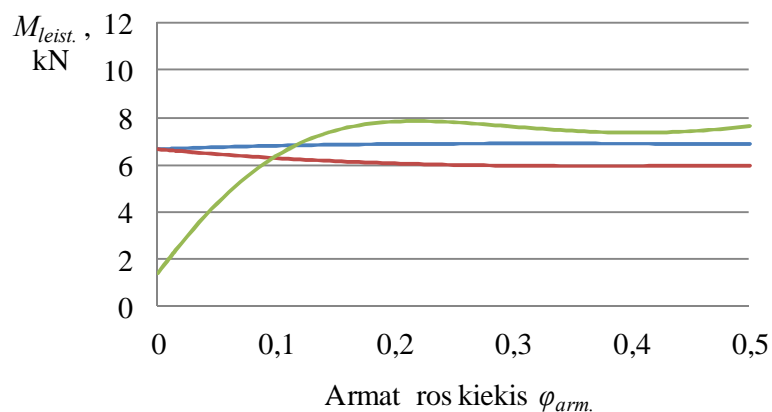
Pagal 2.21 formul nustatyta mažiausi leistinieji momentai. Rezultatai pateikti grafiškai (3.13 pav., 3.14 pav.). Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad eglės medienos konstrukcij sutvirtinti racionaliausia:

- anglies plastiku, kai jo kiekis konstrukcijoje didėja iki 0,12;
- plienu, kai jo kiekis konstrukcijoje kinta nuo 0,12 iki 0,25.

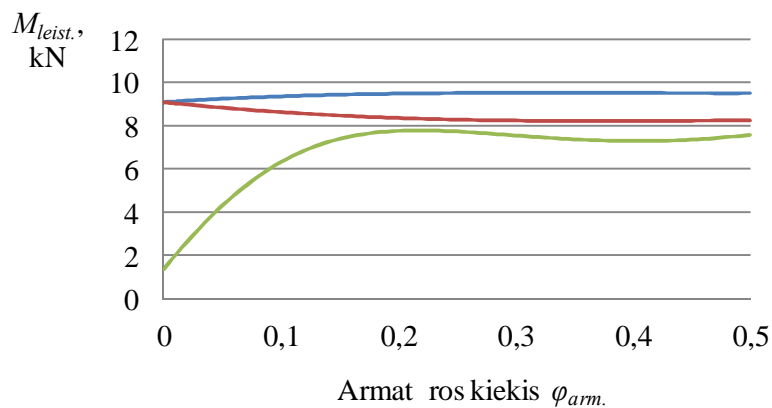
Berflės medienos konstrukcij armuoti tinkamiausia:

- anglies plastiku, kai jo kiekis konstrukcijoje didėja iki 0,33;
- plienu, kai jo kiekis konstrukcijoje didėja iki 0,22.

Uosio medienos konstrukcij racionaliausia armuoti plienu, kai jo kiekis konstrukcijoje didėja iki 0,24.

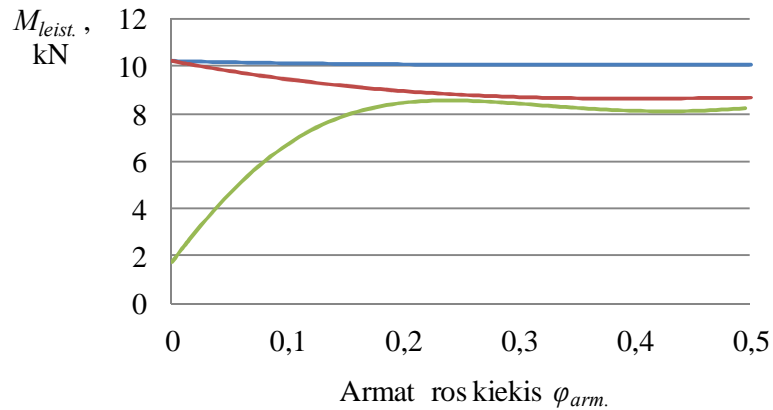


a



b

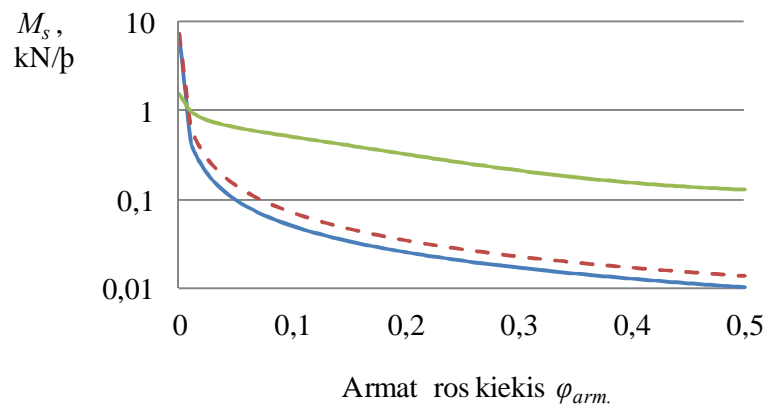
3.13 pav. Lenkiam sluksniuot konstrukcij : a – šėgl – o armat raõ; b – šberflas – o armat raõ, leistinos apkrovos (stiprumo) pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) – o stiklo plastikas; (—) – o anglies plastikas; (—) – o plienas



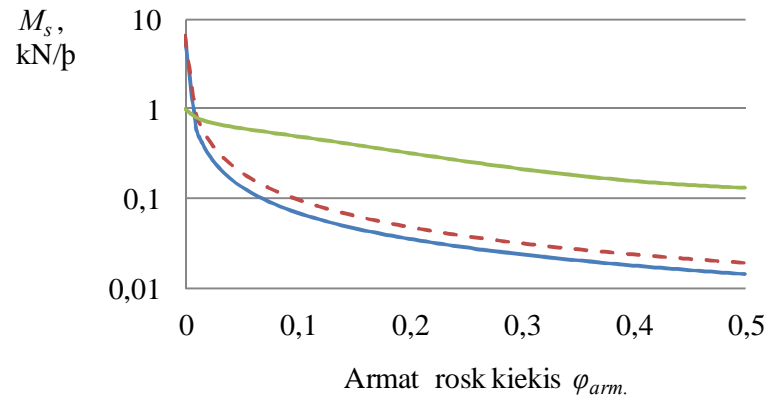
3.14 pav. Lenkiamos sluoksniuotos konstrukcijos, ūsuosis ū armat raū, leistinos apkrovos (stiprumo) pokytis nuo armat ūros kiekio. Armat ūros tipas: (—) ū stiklo plastikas; (—) ū anglies plastikas; (—) ū plienas

Lenkimo atveju tyrimui naudojama stiklo plastiko armat ūra yra netinkama.

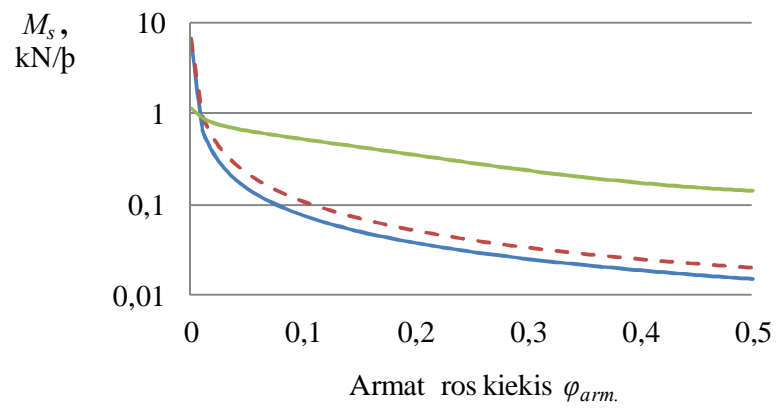
Pagal formul 2.21 apskai iuotas santykinis stiprumas lenkimo atveju. Rezultatai pateikti grafikuose (3.15 pav. 3.16 pav.). Kaip ir prie– tai buvusiais atvejais santykinis stiprumas mafl ja didinant armat ūros kiek konstrukcijoje.



3.15 pav. Lenkiamos sluoksniuotos konstrukcijos, ūzgl ū armat raū, santykinio stiprumo pokytis nuo armat ūros kiekio. Armat ūros tipas: (—) ū stiklo plastikas; (—) ū anglies plastikas; (—) ū plienas



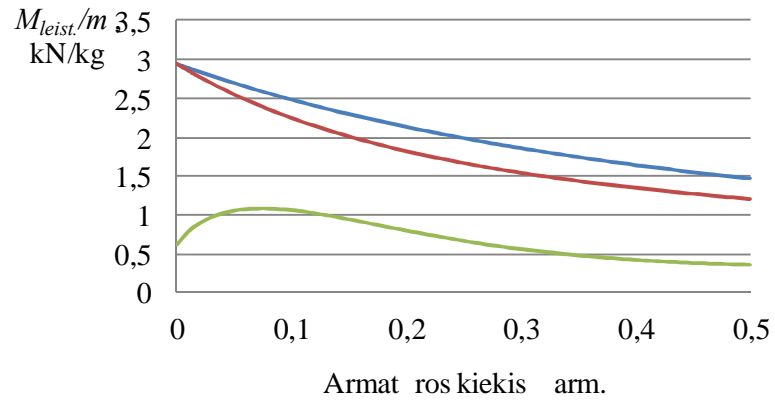
a



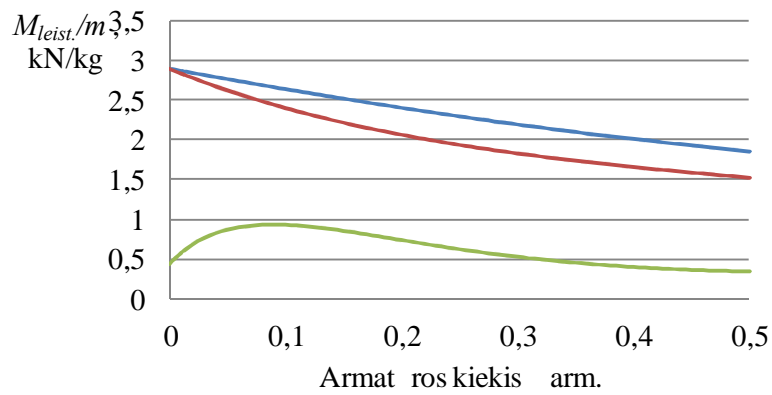
b

3.16 pav. Lenkiam sluoksniuot konstrukcij : a ó šberflas ó armat rað b ó šuosis ó armat rað, santykinio stiprumo pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) ó stiklo plastikas; (—) ó anglies plastikas; (—) ó plienas

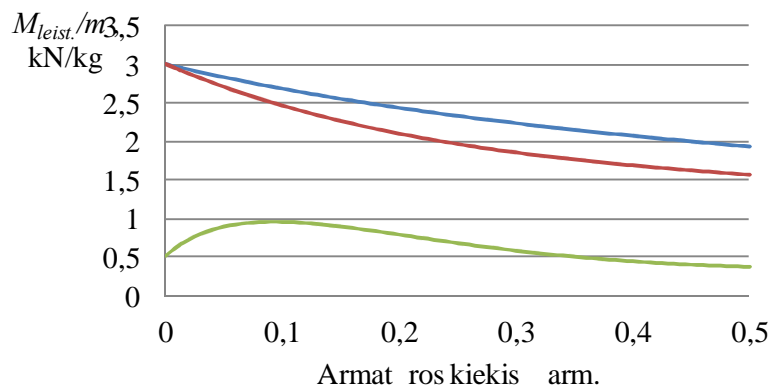
Ir lenkimo atveju vertintas dvisluoksni s konstrukcijos santykinio stiprumo ir mas s santykis. Rezultatai pateikti (3.17 pav.). I– grafik galima teigti, kad konstrukcija, mediena ó plienas, yra sunkiausia.



a



b



c

3.17 pav. Lenkiam sluoksniuot konstrukcij : a ó šegl ó armat raõ; b ó šberflas ó armat raõ c ó šuosis ó armat raõ, stiprumo ir mas s santyki pokytis nuo armat ros kiekio. Armat ros tipas: (—) ó stiklo plastikas; (—) ó anglies plastikas; (—) ó plienas

Pagal mas racionaliausias armat ros tipas yra anglies plastikas, nes yra lengviausias. Tai u pagal savikain yra brangiausias.

IŠVADOS

1. Pastovaus skerspjūvio sluoksniuotos konstrukcijos standumas B tempimo (gniuždimo) atveju ir standumas D lenkiant priklauso nuo konstrukcijų sudarančių medžiagų tamprumo modulių E_i . Jeigu medienos ir armatūros tamprumo modulių santykis ($E_{med}/E_{arm.}$) yra mažiau nei 1, tai didinant armatūros kiekį konstrukcijoje standumas didėja.

2. Nustatyti silpnesni konstrukcijų sluoksniai tempiant (gniuždam) ir lenkiant: esant konstrukcijoms šmediena-anglies plastikasė ir šmediena-stiklo plastikasė silpnesnis sluoksnis yra medienos, o esant šmediena-plienasė – plieno sluoksnis.

3. Santykinio standumo $B_{sant.}$ ir santykinio stiprumo $F_{sant.}$ tempiant (gniuždam), bei santykinio standumo $D_{sant.}$ ir santykinio stiprumo $M_{sant.}$ lenkiant mažiau taikoma didėjanti konstrukcijos masė ir didesnė armatūros savikaina nei medienos.

4. Vertinant visus rezultatus nevertinant konstrukcijų masės ir savikainos galima teigti, kad eglės medienos konstrukcijų sutvirtinti racionaliausia:

- anglies plastikui, kai jo kiekis konstrukcijoje didėja iki 0,12;
- plienui, kai jo kiekis konstrukcijoje kinta nuo 0,12 iki 0,25.

Beržo medienos konstrukcijų armuoti tinkamiausia:

- anglies plastikui, kai jo kiekis konstrukcijoje didėja iki 0,33;
- plienui, kai jo kiekis konstrukcijoje didėja iki 0,22.

Uosio medienos konstrukcijų racionaliausia armuoti plienui, kai jo kiekis konstrukcijoje didėja iki 0,24.

5. Atsivertę masės ir standumo, bei masės ir stiprumo santykius, racionaliausia armuoti medieną – anglies plastikui, nes konstrukcijos, sustiprintos –ia armatūra yra lengviausios. Iš santykinio standumo ir santykinio stiprumo grafikų matyti, kad plienas yra racionaliausia pasirinkimas savikainos atžvilgiu, nes jo savikaina yra 65 kartus mažesnė nei anglies plastiko ir 39 kartus – stiklo plastiko.

LITERATŪRA

1. Partaukas N., Pelenyt -Vy-niauskie L., Kaupien J., *õSluoksniuot j konstrukcij mehanikaõ*. Kaunas, 2014.
2. Barei-is J. Plastik , kompozit ir daugiasluoksni konstrukcini element stiprumas, p. 114. Kaunas, 2006.
3. Guo-yin ZU, Ri-huan LU, Xiao-bing LI, Zhao-yang ZHONG, Xing-jiang MA, Ming-bo HAN, Guang-chun YAO. Tree-point bending behavior of aluminum foam sandwich with steel panel/*Trans. Nonferrous Met. Soc. China*23 2013, p. 2491-2495;
4. Isabella Giorgia Colombo, Matteo Colombo, Marco di Prisco. Bending behaviour of Textile Reinforced Concrete sandwich beams/ *Construction and Building Materials*95 2015, p. 675-685;
5. Soheil Dariushi, Mojtaba Sadighi. A new nonlinear high order theory for sandwich beams: An analytical and experimental investigation/ *Composite Structures*108 2014, p. 779-788;
6. Suthon Srivaro, Nirundorn Matan , Frank Lam. Stiffness and strength of oil palm wood core sandwich panel under center point bending/ *Materials and Design* 84 2015, p. 1546162;
7. A.C. Manalo, T. Aravinthan, W. Karunasena, M.M. Islam. Flexural behaviour of structural Ebre composite sandwich beams in twise and edgewise positions/ *Composite Structures*92 2010, p. 984-995;
8. Zhibin Li, Zhijun Zheng, Jilin Yu, Chunqiang Qian, Fangyun Lu. Deformation and failure mechanisms of sandwich beams under three-point bending at elevated temperatures/ *Composite Structures*111 2014, p. 285-290 ;
9. N.Vi-niakov. Polimerin s medfiagos ir j junginiai, 11 psl. Vilnius 2005;
10. S. Dili nas. Plastik ir kompozit mehaniniai tyrimai, 11-13 psl. Kaunas 2005;
11. Mar iukaitis G., Valivonis J., šLengvosios sluoksniuotosios statybin s konstrukcijosõ . Vilnius 2008 ;
12. Barei-is J., Tri-ys V.,. Plastmas s ir kompozitai. Sud tis, savyb s, panaudojimas. Tãauliai 2000;
13. Plastena. Prieiga per internet : < <http://www.plastena.lt/> > [ffi r ta 2016-01-30];
14. MatWeb. Prieiga per internet : < <http://www.matweb.com/> > [ffi r ta 2016-01-30].